

Departamento de Física

Universidade de Évora

**ENERGIA ELÉCTRICA FORNECIDA POR UM PAINEL FOTOVOLTAICO:**

**CONTRIBUTO PARA UMA VALORIZAÇÃO EDUCATIVA DE UMA ACTIVIDADE  
PRÁTICO-LABORATORIAL DO PROGRAMA DE FÍSICA E QUÍMICA A**

Ângela Maria Rodrigues da Costa

Orientação de: Professora Doutora Mariana Valente

Co-orientação de: Professora Doutora Anabela Martins

“Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri”

Mestrado de Física para o Ensino

2007

**ENERGIA ELÉCTRICA FORNECIDA POR UM PAINEL FOTOVOLTAICO.**

**CONTRIBUTO PARA UMA VALORIZAÇÃO EDUCATIVA DE UMA ACTIVIDADE  
PRÁTICO-LABORATORIAL DO PROGRAMA DE FÍSICA E QUÍMICA A**

Ângela Maria Rodrigues da Costa

Orientação de: Professora Doutora Mariana Valente

Co-orientação de: Professora Doutora Anabela Martins



168 669

“Esta dissertação não inclui as críticas e sugestões feitas pelo júri”

## ***AGRADECIMENTOS***

À Professora Mariana Valente, pelo acompanhamento, apoio, incentivo e sugestões dados na orientação deste trabalho.

À Professora Anabela Martins que me propôs a realização do trabalho que originou a motivação desta tese e pelo entusiasmo transmitido.

À colega Ana Júlia Nobre e seus alunos do 10.º 3.ª do ano lectivo de 2004/5 da Escola Secundária Rainha Dona Leonor, pelo entusiasmo e empenho no trabalho desenvolvido, sem os quais não teria sido possível a realização de parte do estudo realizado.

Ao Carlos e à Lena por todos os momentos que partilhámos.

À professora Amélia Maio por me ter proporcionado diversas experiências que se revelaram muito enriquecedoras e que foram determinantes no meu percurso, bem como o apoio e incentivos continuados.

A todos os professores e alunos com quem tive a oportunidade de trabalhar.

À minha família e amigos e, em particular, ao David.

## **RESUMO**

### **Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico. Contributo para uma valorização educativa de uma actividade práctico-laboratorial do programa de Física e Química A**

Este trabalho apresenta alguns resultados da exploração da actividade do programa da disciplina de Física e Química (FQ A) do 10.º ano de escolaridade, designada “*Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico*”, na qual se estuda a resposta deste dispositivo face a vários factores. A implementação da actividade experimental em questão, permite-nos reconhecer nas células fotovoltaicas um recurso didáctico-pedagógico de grande valor. A sua utilização como recurso pedagógico e a abordagem à física das células fotovoltaicas surge pela primeira vez no programa de FQ A, através desta actividade cuja preparação revela alguma complexidade, considerando-se ser útil fornecer alguns elementos aos professores que a irão implementar.

Como resultado do estudo da referida actividade, surgiu a problemática que nos conduziu ao desenvolvimento de uma proposta de valorização, que consiste num trabalho de projecto que visa cumprir as intenções manifestas nas orientações curriculares e designado por “Em pista...ligado ao Sol”.

## **SUMMARY**

### **Electrical energy supplied by a photovoltaic panel: A proposal to optimise and to enrich the experimental activity integrated in the 10th grade Physics Curriculum**

This work shows some results of the exploitation of an experimental activity integrated in the 10<sup>th</sup> grade Physics Curriculum, called “*Electrical energy supplied by a photovoltaic panel*”. This experiment was developed with a variable control approach of the main factors affecting the efficiency of that device and stressing the importance of the renewable energies.

The implementation of this activity allows us to recognize the photovoltaic cells as a didactic and pedagogical resource of great value. Through this activity, the physics of the photovoltaic cells appears for the first time in the curriculum; however its preparation implies considerable complexity. As a result of this study, some theoretical and practical issues will be provided to the teachers that want to perform it.

## ÍNDICE GERAL

Índice de Figuras .....	XV
Índice de Tabelas .....	XXIII
<b>Capítulo 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Pressupostos do estudo .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Objectivos do estudo .....</b>	<b>6</b>
<b>1.4 Estrutura da tese .....</b>	<b>8</b>
<b>Capítulo 2 – O efeito fotovoltaico: Conhecimento, Tecnologia e Sociedade .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Terminologia fotovoltaica .....</b>	<b>12</b>
2.1.1 Dispositivos fotovoltaicos: Células, módulos e painéis .....	13
2.1.2 Potência de pico .....	14
<b>2.2 Da condução nos líquidos ao interesse pela luz .....</b>	<b>14</b>
2.2.1 Um século antes .....	15
2.2.2 A primeira célula e primeira viagem ao espaço .....	16
2.2.3 A descida à Terra e a crise energética dos anos 70 .....	17
2.2.4 A evolução dos custos e eficiências .....	18
2.2.5 Três gerações de células .....	20
2.2.6 A Era Verde .....	21
<b>2.3 O potencial da energia solar fotovoltaica .....</b>	<b>26</b>
2.3.1 Desenvolvimento e crescimento recentes .....	27
2.3.2 Papel nos sistemas eléctricos e implicações nas redes .....	28

---

2.3.3 Economia, incluindo sistemas de apoio .....	28
2.3.4 Disponibilidade e papel na segurança do aprovisionamento .....	29
2.3.5 Desempenho ambiental .....	30
2.3.5.2 Considerações gerais .....	30
2.3.5.1 Factores que permitem avaliar a tecnologia fotovoltaica numa perspectiva ambiental .....	30
2.3.6 Perspectivas de crescimento e papel futuros .....	34
2.3.6.1 Metas para a União Europeia e para Portugal .....	34
2.3.6.2 Cenários para 2040 .....	35
<b>2.4 O carro “anda porque o Sol brilha” .....</b>	<b>37</b>
2.4.1 Alguns conceitos fundamentais .....	38
2.4.1.1 Irradiância e insolação .....	38
2.4.1.2 Constante Solar .....	40
2.4.1.3 Radiação directa, difusa e reflectida .....	41
2.4.1.4 Massa de ar .....	42
2.4.1.5 Espectro solar .....	43
2.4.2 Factores que afectam a radiação solar .....	44
2.4.2.1 Efeitos atmosféricos .....	44
2.4.2.2 Efeitos geométricos .....	45
<b>2.5 Física da célula fotovoltaica .....</b>	<b>46</b>
2.5.1 A célula fotovoltaica: visão microscópica .....	46
2.5.1.1 Dopagem do semiconductor .....	48
2.5.1.2 Formação da junção pn .....	50
2.5.2 Estrutura macroscópica de uma célula fotovoltaica .....	52
2.5.3 O efeito fotovoltaico .....	54
2.5.4 Circuito equivalente a uma célula fotovoltaica .....	56
2.5.5 Curva tensão-corrente .....	59
2.5.5.1 Curva característica dos módulos fotovoltaicos .....	63
2.5.5.2 Factor de forma e eficiência de conversão .....	65
2.5.5.3 Variações no comportamento da célula .....	67
2.5.6 Aspectos físicos da eficiência das células solares .....	69
2.5.6.1 Factores que limitam as eficiência das células .....	69
2.5.6.2 Resposta espectral de uma célula de silício .....	71

---

2.5.7 Tipos de células .....	74
2.5.7.1 Células de silício monocristalino .....	75
2.5.7.2 Células de silício policristalino .....	76
2.5.7.3 Células de película fina integrada ou filmes finos .....	77
<b>2.6 Descrição dos sistemas fotovoltaicos .....</b>	<b>80</b>
2.6.1 Classificação dos sistemas fotovoltaicos e aplicações .....	80
2.6.2 Componentes de um sistema isolado .....	82
2.6.2.1 Gerador .....	83
2.6.2.2 Baterias .....	84
2.6.2.3 Inversores .....	86
2.6.2.4 Reguladores de carga .....	86
2.6.3 Dimensionamento de sistemas isolados .....	88
<b>2.7 Instalação de um dispositivo fotovoltaico .....</b>	<b>94</b>
2.7.1 Local para instalação de um dispositivo fotovoltaico .....	95
2.7.2 Posicionamento dos painéis fotovoltaicos numa instalação .....	96
2.7.3 Integração dos módulos fotovoltaicos: BIPV .....	97
<b>Capítulo 3 – PROBLEMÁTICA E METODOLOGIA .....</b>	<b>101</b>
<b>3.1 Metodologia e fases de estudo .....</b>	<b>102</b>
3.1.1 Tipo de metodologia utilizada no estudo .....	102
3.1.2 Fases do estudo .....	104
<b>3.2 As células fotovoltaicas no currículo .....</b>	<b>109</b>
3.2.1 O currículo de sala de aula e o programa de FQ A .....	110
3.2.2 Perspectivas sobre Trabalho Experimental .....	111
3.2.3 Perspectivas manifestas nas intenções e inerentes à proposta curricular .....	114

<b>3.3 Questões relacionadas com a actividade experimental AL 1.2 (AL 1.2) .....</b>	<b>125</b>
3.3.1 Questões relacionadas com conhecimentos inerentes à tecnologia fotovoltaica .....	126
3.3.2 Questões relacionadas com a concepção e implementação da actividade AL 1.2 .....	127
<b>3.4 Elementos para o desenvolvimento de uma problemática .....</b>	<b>129</b>
3.4.1 Uma primeira abordagem à actividade experimental AL 1.2 .....	130
3.4.2 Uma leitura da actividade experimental AL 1.2: que problemas? .....	133
3.4.2.1 Ineficaz concretização das intenções do programa .....	133
3.4.2.2 Falta de rigor científico e complexidade .....	134
3.4.3 Outras leituras: a análise das abordagens à actividade AL 1.2 em Manuais Escolares .....	135
3.4.3.1 Um primeiro estudo .....	135
3.4.3.2 Escolha de um Manual Escolar para análise do conteúdo .....	136
3.4.3.3 Categorias de análise .....	137
3.4.3.4 Análise de conteúdo do Manual "Ver +" .....	138
3.4.3.5 O efeito fotovoltaico nos Manuais Escolares .....	143
3.4.4 Problemática associada à actividade experimental AL 1.2 .....	146
<b>Capítulo 4 – IMPLEMENTAÇÃO DA ACTIVIDADE AL 1.2. ....</b>	<b>151</b>
<b>4.1 Selecção dos materiais para a actividade .....</b>	<b>151</b>
4.1.1 A célula, o reóstato e fonte luminosa .....	151
4.1.2 Outros materiais: filtros e "medidor de ângulos" .....	154
<b>4.2 Estratégias de sala de aula .....</b>	<b>157</b>
4.2.1 Estações laboratoriais não rotativas .....	157
4.2.2 Simplificação no de controlo de variáveis .....	157
4.2.3 Curva característica como ponto de partida .....	158

<b>4.3 Aplicação para estimar a área de um Painel Fotovoltaico e Custos .....</b>	<b>159</b>
4.3.1 Cálculos para o dimensionamento do dispositivo fotovoltaico .....	160
4.3.2 Descrição dos passos necessários para estimar "Área e Custos" .....	161
<b>4.4 Alterações a introduzir na AL 1.2 .....</b>	<b>162</b>
4.3.1 Retirar a analogia entre a resistência do circuito e a dos receptores na habitação .....	162
4.3.2 Utilizar outra aplicação da energia solar fotovoltaica .....	163
4.3.3 Utilizar novo contexto e Trabalho de Projecto .....	164
<b>Capítulo 5 – PROPOSTA DE VALORIZAÇÃO DA ACTIVIDADE AL 1.2:     DA IDEIA À IMPLEMENTAÇÃO .....</b>	<b>167</b>
<b>5.1 Considerações sobre Trabalho de Projecto em educação e sua avaliação .....</b>	<b>167</b>
5.1.1 Funções educativas do Trabalho de Projecto .....	168
5.1.2 As características do Trabalho de Projecto .....	169
5.1.3 A gestão do Trabalho de Projecto na sala de aula .....	172
5.1.4 A metodologia de aprendizagem no Trabalho de Projecto "Em pista... ligado ao Sol" .....	173
<b>5.2. O Logbook no Trabalho de Projecto .....</b>	<b>176</b>
5.2.1 O termo " <i>logbook</i> " .....	176
5.2.1.1 A origem da palavra " <i>logbook</i> " .....	176
5.2.1.2 Um <i>logbook</i> , não um portefólio .....	178
5.2.2 Metodologia de concepção e utilização do <i>logbook</i> .....	179
5.2.2.1 A forma e tamanho do <i>logbook</i> .....	179
5.2.2.2 Como registar e o que registar tarefas de composição .....	180
5.2.2.3 Organização do <i>logbook</i> .....	181
5.2.3 Porquê um <i>logbook</i> ? .....	182
5.2.3.1 Registar para tornar visível.....	182
5.2.3.2 O <i>logbook</i> como regulador da aprendizagem .....	184
5.2.3.3 O <i>logbook</i> e a Memória Descritiva como tarefas de composição .....	186
5.2.3.4 O <i>logbook</i> como organizador do Trabalho de Projecto .....	189

<b>5.3 Concepção do projecto "Em pista... ligado ao Sol": projecto intenção do professor .....</b>	<b>192</b>
5.3.1 Concretização da ideia .....	192
5.3.2 Concretização dos materiais experimentais .....	193
5.3.2.1 O carro solar fotovoltaico .....	194
5.3.2.2 A pista .....	197
5.3.2.3 Os túneis .....	198
5.3.2.4 O sistema de medição de tempo .....	200
<b>5.4 Planificação do projecto "Em pista... ligado ao Sol" .....</b>	<b>203</b>
5.4.1 Descrição do projecto.....	203
5.4.2 Fases e etapas do projecto .....	207
5.4.3 Guião do professor.....	210
<b>5.5 Implementação do Projecto "Em pista... ligado ao Sol" .....</b>	<b>211</b>
5.5.1 Do Projecto do Professor ao Projecto do Aluno .....	211
5.5.2 Materiais de carácter experimental necessários à implementação do projecto .....	213
5.5.3 Outros materiais de apoio à implementação do projecto .....	215
5.5.3.1 Slides para apresentação do tema e do projecto .....	215
5.5.3.2 O <i>logbook</i> .....	216
5.5.4 Descrição de alguns momentos relativos à implementação do projecto .....	224
5.5.4.1 Primeira aula: Introdução ao projecto .....	225
5.5.4.2 Segunda aula: Estudo da curva característica de uma célula fotovoltaica .....	227
5.5.4.3 Terceira aula: Aula experimental .....	228
5.5.4.4 Preparação da corrida .....	230
5.5.4.5 A corrida .....	231
5.5.5 O projecto "Em pista... ligado ao Sol" como solução à problemática considerada .....	232
5.5.5.1 O projecto "Em pista... ligado ao Sol" como resposta às intenções do programa de FQ A .....	233
5.5.5.2 O projecto "Em pista... ligado ao Sol" como resposta às inconsistências apontadas à actividade AL 1.2 .....	236

---

<b>CAPÍTULO 6– CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>239</b>
<b>6.1 Conclusões gerais do estudo .....</b>	<b>239</b>
<b>6.2 Limitações do estudo .....</b>	<b>244</b>
<b>6.3 Sugestões para futuras investigações .....</b>	<b>245</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>247</b>
<b>Bibliográficas .....</b>	<b>247</b>
<b>Webográficas .....</b>	<b>257</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>261</b>
Anexo I - Questões abordadas e pontos a relevar na perspectiva do professor em cada capítulo .....	263
Anexo II - Transcrição da actividade experimental AL 1.2 do programa de FQ A do 10.º ano .....	267
Anexo III - Análise da abordagem à actividade AL 1.2 no Manual "Ver+" .....	273
Anexo IV - Análise das abordagens à actividade AL 1.2 em alguns Manuais Escolares .	279
Anexo V - Análise de abordagens à actividade experimental AL 1.2 em alguns Manuais Escolares (tabelas síntese) .....	287
Anexo VI - Simulação da área e custos de um sistema fotovoltaico .....	293
Anexo VII - Guião do aluno para a actividade experimental AL 1.2 (com as alterações sugeridas no ponto 4.4.2, p. 162) .....	297

Anexo VIII - Materiais para o projecto "Em pista... Ligado ao sol": custos e locais de aquisição .....	313
Anexo IX - Slides de suporte à 1.ª aula .....	317
Anexo X - Guião do Professor .....	331
Anexo XI - <i>Logbook</i> .....	339

(O logbook tem paginação própria)

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> - Representação de uma célula de silício monocristalino .....	13
<b>Figura 2.2</b> - Representação dos dispositivos fotovoltaicos: célula, módulo e painel .....	13
<b>Figura 2.3</b> - Variação dos preços dos módulos fotovoltaicos, entre 1975 e 1998 .....	18
<b>Figura 2.4</b> - Curva de aprendizagem da tecnologia fotovoltaica, no mercado mundial, entre 1976 e 1992 .....	19
<b>Figura 2.5</b> - Evolução dos valores da eficiência de células e módulos de silício cristalino	20
<b>Figura 2.6</b> - Gráfico da variação do crescimento de produção de módulos fotovoltaicos e média dessa variação por "Era" .....	22
<b>Figura 2.7</b> - Estrutura da produção de electricidade em 2004 por fonte .....	23
<b>Figura 2.8</b> - Emissões de GEE e compromissos para o período 2008-2012 .....	25
<b>Figura 2.9</b> - Produção mundial de células fotovoltaicas, de 1993 a 2005 .....	27
<b>Figura 2.10</b> - Gráfico da capacidade instalada em 2005 considerando o mercado global do solar fotovoltaico .....	27
<b>Figura 2.11</b> - Energia total e eléctrica produzidas no último século e a antevisão para os próximos dois .....	29
<b>Figura 2.12</b> - Energia anual fornecida por um sistema FV e valores relativos aos indicadores energéticos, para várias cidades da OCDE .....	33
<b>Figura 2.13a</b> - Emissões de GEE dos países da OCDE .....	34
<b>Figura 2.13b</b> - Níveis de mitigação do CO <sub>2</sub> em várias cidades dos países da OCDE .....	34
<b>Figura 2.14</b> - Cenário 1 para a contribuição das Fontes de Energias Renováveis	

até 2040 .....	36
<b>Figura 2.15</b> - Cenário 2 para a contribuição das Fontes de Energias Renováveis até 2040 .....	36
<b>Figura 2.16</b> - Variação da irradiância solar ao longo de um dia e respectiva insolação .....	40
<b>Figura 2.17</b> - Efeitos atmosféricos sobre a radiação que atinge a atmosfera terrestre .....	41
<b>Figura 2.18</b> - Representação das distâncias percorridas pela luz solar na atmosfera terrestre, em duas posições relativas do Sol; relação da massa de ar com o ângulo da radiação solar incidente com a vertical do lugar .....	42
<b>Figura 2.19</b> - Representação da distribuição espectral do sol e espectros de emissão de um corpo negro a diferentes temperaturas .....	43
<b>Figura 2.20</b> - Distribuição espectral do Sol e absorção molecular para AM0 e AM1 .....	44
<b>Figura 2.21</b> - Janela solar para um local do Hemisfério Norte .....	46
<b>Figura 2.22</b> - Cristal de silício e respectiva célula unitária .....	47
<b>Figura 2.23</b> - Representação das estruturas de banda de um metal, um isolante e um semicondutor puro .....	48
<b>Figura 2.24</b> - Diagrama de bandas para o silício dopado originando um material tipo p e um tipo n .....	49
<b>Figura 2.25</b> - Representação dos cristais de silício puro e dopado .....	50
<b>Figura 2.26</b> - Representação dos dois blocos semicondutores do tipo p e do tipo n e a localização das cargas após a difusão dos electrões e lacunas .....	51
<b>Figura 2.27</b> - A figura mostra a carga, o potencial e o campo eléctrico existentes ao longo do semicondutor .....	52

---

<b>Figura 2.28</b> - Ilustração de uma célula fotovoltaica e os seus principais constituintes .....	53
<b>Figura 2.29</b> - Célula fotovoltaica: gera corrente contínua a partir da radiação solar .....	54
<b>Figura 2.30</b> - Representação do efeito fotovoltaico numa célula .....	55
<b>Figura 2.31</b> - Criação de electrões e lacunas nos materiais tipo-n e tipo-p e a recombinação em cada um dos materiais .....	55
<b>Figura 2.32</b> - Circuito equivalente a uma célula fotovoltaica (modelo simplificado) .....	56
<b>Figura 2.33</b> - Representação das correntes internas numa célula fotovoltaica. Os círculos cinzentos representam e electrões e os brancos, lacunas .....	57
<b>Figura 2.34</b> - Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica (modelo de 5 parâmetros) ..	59
<b>Figura 2.35</b> - Curva tensão corrente de uma célula fotovoltaica e os pontos $I_{cc}$ e $V_{ca}$ .....	60
<b>Figura 2.36</b> - Curva característica da célula e gráfico da potência fornecida versus tensão .....	61
<b>Figura 2.37</b> - Curva característica da célula e representação do ponto de máxima potência .....	62
<b>Figura 2.38</b> - Interação de uma carga exterior (R) com o funcionamento do módulo fotovoltaico .....	62
<b>Figura 2.39</b> - Módulo constituído por 36 células ligadas em série .....	63
<b>Figura 2.40</b> - Curvas característica correspondentes a n células conectadas em série ..	64
<b>Figura 2.41</b> - Curva característica da célula e comparação das áreas correspondentes aos produtos $V_M I_M$ e $I_{CC} V_{CA}$ .....	65
<b>Figura 2.42</b> - Curvas características de duas células fotovoltaicas com diferentes factores	

---

de forma .....	66
<b>Figura 2.43</b> – Curva característica tensão-corrente de um dispositivo fotovoltaico para diferentes condições de irradiância .....	67
<b>Figura 2.44</b> - Variação da eficiência de conversão com a concentração de luz .....	68
<b>Figura 2.45</b> - Variação de alguns parâmetros de funcionamento com a temperatura .....	68
<b>Figura 2.46</b> - Curvas características tensão-corrente de uma célula fotovoltaica para diferentes valores da temperatura .....	69
<b>Figura 2.47</b> – Representação da distribuição espectral do Sol e a curva espectral de sensibilidade de uma célula fotovoltaica de silício .....	72
<b>Figura 2.48</b> - Sensibilidade espectral relativa de uma célula de silício .....	73
<b>Figura 2.49</b> - Energia por fóton em função do c.d.o. A área sombreada representa a fracção que é transformada em energia eléctrica por uma célula de silício .....	73
<b>Figura 2.50</b> - Produção de módulos solares utilizando diferentes tecnologias .....	74
<b>Figura 2.51</b> - Produção de módulos solares utilizando as diferentes tecnologias em 2003 .	75
<b>Figura 2.52</b> - Célula fotovoltaica de silício monocristalino .....	75
<b>Figura 2.53</b> - Representação do processo de fabrico das células de silício cristalino .....	76
<b>Figura 2.54</b> - Célula fotovoltaica feita de silício policristalino .....	76
<b>Figura 2.55</b> - Comparação das eficiências de células de diferentes materiais e a respectiva banda de energia para diferentes condições: <i>AM0</i> e <i>AM1.5</i> .....	77
<b>Figura 2.56</b> - Módulo semitransparente .....	78

---

<b>Figura 2.57</b> - Célula fotovoltaica de silício amorfo .....	78
<b>Figura 2.58</b> - Exemplos de células de película fina: a) Silício Amorfo, b) Telurídio de Cadmio e c) Disselénio de índio e cobre .....	79
<b>Figura 2.59</b> - Gráfico da potência acumulada instalada em Portugal nos anos de 1992 a 2004 .....	81
<b>Figura 2.60</b> - A figura representa uma configuração possível para um sistema sem ligação à rede .....	83
<b>Figura 2.61</b> - Curva característica de um gerador fotovoltaico e zona de funcionamento quando ligado a um banco de baterias .....	85
<b>Figura 2.62</b> - A figura mostra a pequena variação na tensão fornecida pelo gerador fotovoltaico, no ponto de máxima potência, para diferentes valores da irradiância .....	85
<b>Figura 2.63</b> - A figura mostra o ponto de máxima potência do gerador e os pontos de funcionamento extraídos com um regulador convencional e um controlador MPPT .....	86
<b>Figura 2.64</b> - Representação do MPPT de um sistema fotovoltaico .....	87
<b>Figura 2.65</b> - Gráfico da energia recebida por um dispositivo fotovoltaico fixo (a cheio) e para um dispositivo móvel (a tracejado) .....	94
<b>Figura 2.66</b> – Mapa da insolação solar em Portugal. Valores Médios Anuais (horas), no período 1931-1960 .....	95
<b>Figura 2.67</b> - Representação das inclinações dos módulos que optimizam a captação de radiação incidente para diferentes alturas do ano .....	96
<b>Figura 2.68</b> - Irradiância solar sobre planos correspondentes a telhados e diferentes fachadas .....	97

---

<b>Figura 2.69</b> - Célula fotovoltaica transparente .....	98
<b>Figura 2.70</b> - Cobertura utilizando células semitransparentes .....	98
<b>Figura 2.71</b> - "Telhas fotovoltaicas" .....	98
<b>Figura 2.72</b> - Barreira de som com painéis fotovoltaicos .....	98
<b>Figura 2.73</b> - Integração de painéis fotovoltaicos numa cobertura .....	99
<b>Figura 2.74</b> - Integração de 300m <sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos na fachada da Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró, Catalunha .....	99
<b>Figura 3.1</b> - Esquema ilustrativo do percurso realizado na construção da proposta apresentada .....	106
<b>Figura 3.2</b> - Relação entre trabalho prático, laboratorial, experimental e de campo .....	112
<b>Figura 3.3</b> - Três dimensões da ciência escolar .....	113
<b>Figura 3.4</b> - Esquema do circuito utilizado na actividade A1 1.2 .....	130
<b>Figura 3.5</b> - Fotografia da montagem do circuito utilizado na actividade A1 1.2 .....	130
<b>Figura 3.6</b> - Gráfico potência versus resistência, de uma célula FV obtido com um reóstato de 30 $\Omega$ .....	131
<b>Figura 3.7</b> - Gráfico da potência versus a resistência, de uma célula fotovoltaica para valores da resistência até 4400 $\Omega$ .....	131
<b>Figura 3.8</b> - Gráficos potência versus resistência para diferentes valores da iluminância .	132
<b>Figura 3.9</b> - Diagrama existente num manual escolar: Circulação de electrões, na junção pn de um semiconductor de silício e no circuito exterior .....	145
<b>Figura 4.1</b> - Curva característica e relação de $V_{ca}/I_{cc}$ com a resistência que maximiza a	

eficiência da célula, dado por $V_{max}/I_{max}$ .....	153
<b>Figura 4.2</b> - Fotografia do "medidor de ângulos" .....	154
<b>Figura 4.3</b> - Representação do processo utilizado para medir o ângulo $\beta$ .....	155
<b>Figura 4.4</b> - Fotografias do sistema utilizado na interposição de filtros .....	156
<b>Figura 4.5</b> - Espectro de sensibilidade de uma célula de silício e de emissão de diferentes fontes .....	156
<b>Figura 4.6</b> - Gráfico potência versus resistência com a interposição de diferentes filtros .....	156
<b>Figura 4.7</b> - Gráficos da curva característica de um dispositivo fotovoltaico para diferentes iluminâncias .....	158
<b>Figura 4.8</b> - Gráficos da potência vs d.d.p. e curva característica .....	159
<b>Figura 5.1</b> - Diagrama relativo aos projectos do professor e do aluno e a sequência de etapas esperadas .....	174
<b>Figura 5.2</b> - Imagem de uma barquinha .....	177
<b>Figura 5.3</b> - Imagem do logbook de Alexander Graham Bell .....	182
<b>Figura 5.4</b> - Carro parcialmente desmontado e adaptado para funcionar com um módulo fotovoltaico .....	195
<b>Figura 5.5</b> - Carro Solar "Pembina SunBuggy" .....	196
<b>Figura 5.6</b> - Carro "SolarDrive" .....	196
<b>Figura 5.7</b> - kit do carro "SolarDrive" .....	197
<b>Figura 5.8</b> - Fotografia da pista, com o pormenor da calha .....	198

<i>Figura 5.9</i> - Túnel de acrílico vermelho .....	200
<i>Figura 5.10</i> - Fotografia da montagem das pistas e sistema de medição de tempo .....	202
<i>Figura 5.11</i> - Algumas propostas que surgiram na implementação do projecto .....	205
<i>Figura 5.12</i> - Fotografia das pistas montadas pelos alunos .....	206
<i>Figura 5.13</i> - Fases e etapas do projecto .....	208
<i>Figura 5.14</i> - Recursos pedagógicos a utilizar .....	213
<i>Figura 5.15</i> - Slides 11 e 14 da sessão de apresentação do Tema e do Projecto .....	215
<i>Figura 5.16</i> - Capa do logbook .....	217
<i>Figura 5.17</i> - Imagem da primeira página do logbook: “Este pequeno caderno...” .....	218
<i>Figura 5.18</i> - Imagem contexto para introdução do tema do projecto, extraída do logbook.....	219
<i>Figura 5.19</i> - Tarefas do projecto e informação existente e a registar no logbook .....	220
<i>Figura 5.20</i> - Regulamento da corrida .....	220
<i>Figura 5.21</i> - Folhas de planificação do projecto e registos .....	222
<i>Figura 5.22</i> - Folhas de planificação das actividades experimentais e registos .....	223
<i>Figura 5.23</i> - Fotografias das aulas laboratoriais e a utilização do logbook nessas aulas .....	232
<i>Figura 5.24</i> - Fotografia de parte da pista e um dos carros a terminar a sua prova .....	233

## ***ÍNDICE DE TABELAS***

<b><i>Tabela 2.1</i></b> - Eficiências de conversão típicas e máximas dos módulos e células, em condições STC (1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C, espectro solar AM1.5) .....	79
<b><i>Tabela 2.2</i></b> - Valores típicos da potência de alguns equipamentos eléctricos .....	90
<b><i>Tabela 4.1</i></b> - Quadro síntese do estudo da utilização de alguns dispositivos fotovoltaicos para a actividade AL 1.2 .....	152
<b><i>Tabela 5.1</i></b> - Lista do material de carácter experimental necessário à implementação do projecto .....	214

## **Capítulo 1 - INTRODUÇÃO**

“For a successful implementation of PV, a strong effort is required in the field of education and training at all levels”

in A Vision for Photovoltaic Technology (PV-TRAC, 2005)

### **1.1 Introdução**

A Física está intrinsecamente ligada ao mundo que nos rodeia, ao nosso quotidiano. Utilizar essa proximidade nas práticas lectivas permite ao docente uma efectiva contextualização dos saberes, cabendo-lhe reinventar situações e contextos, na concepção de actividades geradoras de conhecimento que potenciem o envolvimento do aluno na construção do conhecimento físico.

O modo como o conhecimento é construído, em contexto de sala de aula, terá efeitos sobre o desenvolvimento da sua valorização e sobre a qualidade das aprendizagens. A seguinte história da infância de Feynman, que intitulámos “O carro anda porque o sol brilha” (Lévy-Leblond, 1995) foi para nós inspiradora para o contributo que gostaríamos que este trabalho representasse:

Num manual escolar do sexto ano, que tive oportunidade de folhear, verifiquei que desde o princípio o autor ia por maus caminhos porque partia de uma ideia falsa sobre o que é a ciência. Vemos uma primeira página que representa um cão mecânico, um desses brinquedos a que é preciso dar corda; vê-se em seguida uma mão que dá corda ao cão e este começa a andar. Por baixo há uma legenda que diz: “O que é que faz andar o cão?” Um pouco mais longe, sobre uma outra imagem, vemos um cão verdadeiro com a mesma questão: “O que é que faz andar o cão?”. Depois vê-se uma mota, sempre com a mesma legenda: “O que é que faz andar a mota?”.

No princípio pensei que se tratava de uma introdução aos diversos domínios da ciência: a física, a biologia, a química. Mas nada disso. Porque a resposta esperada encontrei-a no livro do professor: “É a energia que faz andar o cão, a mota, etc. (...)”

Utilizando as palavras de Valente (2006), a resposta poderia ter sido Deus ou a força do espírito ou outra qualquer. Trata-se de uma resposta que, para além de incorrecta, tem a autoridade de uma definição sem que nada se possa impor. Whitehead diria que estaríamos no domínio das ideias inertes.

Feynman confronta-nos então, com a resposta que seu pai lhe teria dado, que seria no sentido de reforçar o mistério em torno da situação inicial, envolvendo-o numa perplexidade crescente:

(...) nesta situação o meu pai ter-me-ia dito: «O cão anda porque o sol brilha», ao que eu teria respondido: Mas não, o sol não é para aqui chamado. O cão anda porque lhe dei corda. – «Sim, mas meu querido amigo o que é que te dá a capacidade de dar à corda?» (Lévy-Leblond, 1995).

Esta perplexidade que resulta da história contexto contada por Feynman é de grande importância pedagógica e foi também mobilizadora para nós, ajudando-nos a ter sempre presente a importância da perplexidade na construção do conhecimento.

Neste sentido, poder-se-ia esperar que um dispositivo como a célula fotovoltaica pudesse, só por si e pelo seu interesse motivar a curiosidade e o questionamento dos alunos. Este dispositivo produz electricidade só porque o sol brilha, sem que existam outras transformações intermédias de energia: a energia solar transforma-se directamente em energia eléctrica.

Na infância, enquanto Feynman brincava com um comboio eléctrico ligado à rede convencional de energia, o seu pai explicou-lhe como se produzia a energia eléctrica que o pequeno comboio necessitava para se mover:

Quando comecei a brincar com um comboio eléctrico, o meu pai disse-me: «algures há uma grande roda que é posta a rodar por uma queda de água. De lá partem muitos fios de cobre em todas as direcções, que vão longe muito longe... e no fim, há pequeninas rodas que se põem a rodar, quando a roda grande roda. A grande roda e as pequeninas só estão ligadas por fios de cobre ou de ferro, nada mais, nada que mexa. Faz-se rodar uma grande roda num certo sítio, e todas as pequeninas rodas por todo o lado se põem a rodar; e o teu comboio eléctrico é uma dessas pequeninas rodas». Como era belo o mundo que me descrevia o meu pai (Lévy-Leblond, 1995, p. 227).

Através desta história vemos como é possível reinventar situações do nosso quotidiano e valorizar as ideias contidas no conhecimento científico e tecnológico, permitindo-nos reconhecê-las como produtos de uma surpreendente capacidade e imaginação humanas.

No presente trabalho pretendemos, de alguma forma, ocupar o papel do pai de Feynman e contribuir para a valorização de uma actividade laboratorial que consta do novo programa de Física e Química A (FQ A) do 10.º ano de escolaridade. Esta actividade é aí designada por “*AL 1.2 - Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico*” (AL 1.2).

Trata-se de uma actividade experimental de carácter laboratorial, integrada na unidade temática “Do Sol ao aquecimento” e marca a introdução nos currículos portugueses das células fotovoltaicas como recurso didáctico, sendo introduzida no programa com o objectivo de “salientar as diferenças entre os processos de utilização da energia solar para o aquecimento e para produzir energia eléctrica” (Caldeira, 2001).

A primeira célula fotovoltaica data de 1954, tendo a sua comercialização tido início nos anos setenta, surgindo agora, cerca de meio século depois, como recurso “obrigatório” nas escolas. Talvez esta recente integração nos conteúdos programáticos se revele um mecanismo eficaz de divulgação desta tecnologia e contribua para diminuir, quer o desconhecimento ainda existente desta, quer a confusão com os dispositivos de conversão térmica da energia solar.

A tecnologia fotovoltaica, relativamente recente quando comparada com tecnologia solar térmica, tem vindo a conquistar uma importância crescente, começando a integrar paisagens rurais e citadinas e a fazer parte do nosso quotidiano. Este crescimento deve-se, em parte, à situação energética actual e à necessidade premente e global de redução dos níveis de emissão de gases de efeito de estufa.

## 1.2 Pressupostos do Estudo

A nosso ver, as células fotovoltaicas podem revelar-se um recurso de grande potencial pedagógico, na medida em que permitem veicular para o contexto de sala de aula diversas problemáticas actuais e desenvolver abordagens CTSA (ciência-tecnologia-sociedade-ambiente), podendo adequar-se aos vários níveis de ensino e em diferentes áreas do conhecimento. Na Física, em particular, pode surgir ligada a diversos conteúdos através das estratégias mais convenientes, como corrente eléctrica, estudo das radiações, dos semicondutores, circuitos e componentes electrónicos, de transformações de energia ou sobre o seu próprio funcionamento. É o que acontece no programa de FQ A do 10.º ano que lhe atribui desde já, o protagonismo na actividade experimental AL 1.2, onde se convida ao estudo do funcionamento das células fotovoltaicas e da resposta a diferentes factores, com o objectivo de decidir quais as melhores condições para a instalação de um painel numa determinada aplicação.

Consideramos contudo, existirem algumas inconsistências na concepção da referida actividade, apesar do seu inquestionável interesse quer do ponto de vista dos conteúdos que encerra quer do ponto de vista experimental. Na perspectiva de que os Manuais Escolares funcionam como tradutores das prescrições curriculares gerais e construtores do seu verdadeiro significado (Gimeno, citado em Cabral, 2005), propusemo-nos analisar as abordagens à actividade experimental AL 1.2 dos autores de alguns Manuais. Verificámos contudo, que as referidas inconsistências que considerámos existirem não eram devidamente ultrapassadas nas abordagens analisadas, surgindo em alguns casos, outros problemas. É o caso da falta de rigor científico com que o tema é abordado, como se deixa transparecer, a título de exemplo, pela seguinte passagem acerca do funcionamento das

células fotovoltaicas, que surge no fundamento teórico da referida actividade, num Manual Escolar actual (Costa, Moisão, Caeiro, 2002):

“A conversão directa da energia solar em corrente eléctrica é realizada nas células solares através do efeito fotoeléctrico, que consiste essencialmente na produção de corrente eléctrica através da radiação incidente sobre um material. A radiação incidente (como se sabe das aulas de Química) tem de possuir uma energia superior à energia de ionização do material, o que gera fotoelectrões que são utilizados para gerar corrente eléctrica.” (sublinhado nosso)

Relativamente à actividade que aqui nos propomos estudar, consideramos que, quer o programa que dita o currículo a implementar, quer os Manuais que o concretizam num primeiro nível e que funcionam habitualmente como uma referência, devem ser encarados pelo professor como fontes sobre as quais deverá manter uma postura reflexiva e crítica. Perante isto, procurámos encontrar uma alternativa que atribísse maior consistência à actividade AL 1.2 e por outro lado, fornecer elementos que facilitem o percurso do professor que a pretenda implementar.

O principal problema que considerámos existir na actividade foi a desconexão entre a questão-problema e os procedimentos requeridos, que não são motivados pela problemática criada, como veremos no capítulo 3. A questão-problema é vista, segundo os autores do programa de FQ A, como ponto de partida para a resolução da actividade experimental, num contexto de investigação dirigida, não se advogando que a sua execução esteja sujeita a protocolos rígidos (Caldeira, 2001). Deste modo, fica a questão de como esperar que os alunos decidam estudar a influência de algumas variáveis que não têm relação com o problema colocado pela questão-problema. A forma de ultrapassar essa desconexão poderia passar por criar um novo contexto que interligasse o problema central, aos procedimentos sugeridos no programa, de forma a contornar esta, e outras inconsistências, que considerámos existirem na actividade AL 1.2. Em resultado, apresentámos uma proposta de valorização da actividade AL 1.2 que se desenvolve em torno de uma nova questão-problema e segundo uma metodologia de Trabalho de Projecto, e que intitulámos de "Em pista...ligado ao Sol".

### 1.3 Objectivos

Pretendemos que o projecto concebido possa ser implementado em sala de aula no lugar da actividade AL 1.2 do programa de FQ A, uma vez que possui o mesmo objecto de ensino e idênticos objectivos de aprendizagem, permitindo ainda, na nossa perspectiva, concretizar mais eficazmente a vertente experimental que o programa pretende privilegiar. O facto de a actividade se transformar num Trabalho de Projecto prende-se com a complexidade que caracteriza a actividade AL 1.2, aspecto que não é relevado nem no programa nem nos Manuais Escolares e que se foi tornando evidente para nós, à medida que aprofundámos o seu estudo.

O projecto proposto procura promover a construção do conhecimento físico partindo de uma situação problemática, que constitui um contexto motivador e de desafio, que contribuirá para que os alunos se apropriem do Trabalho de Projecto e se proponham realizar as actividades laboratoriais que o programa sugere como meio de alcançar a melhor resposta à questão, isto é, de forma a obter o melhor produto. Este consiste, ele próprio, numa actividade “*hands on*”, realizada fora da sala de aula e que contém uma componente lúdica bastante elevada. Esta componente trespassa para o projecto, transversalmente, na medida em que está sempre presente, servindo de contexto à situação problema, funcionando como o ponto de partida, motivando o percurso/processo realizado e sendo ponto de chegada, na forma de actividade final que motiva e concretiza os conhecimentos adquiridos.

A situação problemática criada através desse contexto pretende, deste modo, ser uma *interface* entre o desenvolvimento dos conhecimentos físicos sobre o funcionamento das células fotovoltaicas, que permitirão a incorporação de novos conhecimentos, e a sua aplicação, através e ao longo da elaboração do Trabalho de Projecto, com vista à sua resolução.

A resposta à questão problema será obtida através de pesquisa e de actividades experimentais que o aluno planifica e realiza, descrevendo um conjunto de ensaios semelhantes ao que o programa prescreve. Admitindo que o aluno não está familiarizado com a metodologia de Trabalho de Projecto e com trabalho experimental de carácter investigativo, a sua investigação será apoiada por um *logbook* (instrumento apresentado no capítulo 5), onde constam alguns documentos que designámos por "organizadores do projecto", orientadores do percurso do aluno em conjunto com o professor. O *logbook* terá outras funções como veremos, salientando-se o seu papel no processo de avaliação e de auto-avaliação.

Foi reservado um capítulo (capítulo 2), onde se sistematiza e trata informação relevante sobre a tecnologia fotovoltaica e a física inerente ao funcionamento das células fotovoltaicas, para não especialistas, nomeadamente, para os professores que pretendam abordar em sala de aula o tema "Energia eléctrica fotovoltaica" ou em particular a actividade AL 1.2. A necessidade de desenvolver este texto prende-se com a falta de publicações portuguesas disponíveis sobre o tema que reúnam e tratem a informação a um nível que sirva o professor. Existem obras sobre assuntos mais genéricos que abordam sem grande profundidade a energia solar fotovoltaica (Juster, F., 1981, Ramage, J. 2003), mas não se encontrou uma obra que pudesse servir de referência, no sentido de ser a base de trabalho para professores e/ou alunos. Encontram-se ainda edições periódicas (SPES, 2003) ou associadas a determinados projectos, onde se pode encontrar abordado o tema (ADENE, 2002, INETI, 2006). Na biblioteca global, a *internet*, deparamo-nos com um excesso de informação e, sobretudo, com documentos que oferecem graus de profundidade e de rigor muito variáveis, o que dificulta a pesquisa.

O referido capítulo inicia-se com o enquadramento da tecnologia fotovoltaica, acompanhando o seu percurso até aos nossos dias, apresentando alguns cenários traçados para as próximas décadas. Abordamos ainda, o papel que, hoje e no futuro próximo, lhe é atribuído na política energética mundial e nacional. De seguida, procuraremos explicar por que anda o carro quando o Sol brilha, ou seja, visitaremos a estrutura e funcionamento de uma célula fotovoltaica e a sua resposta a diferentes condições, após revermos alguns conceitos fundamentais. Indo ao encontro do contexto da actividade experimental AL 1.2, apresentaremos a constituição de um sistema fotovoltaico isolado doméstico, o contributo

dos vários componentes do sistema e uma forma de o dimensionar. Este capítulo inicia a dissertação uma vez que contém os conhecimentos essenciais sobre a tecnologia fotovoltaica que permitem a melhor compreensão da proposta trabalhada.

Queremos ainda salientar que dadas as especificidades de cada capítulo, os métodos utilizados na sua construção serão explicitados em cada um deles. Esses métodos estarão unidos pela questão que mobilizou todo este trabalho - como contribuir para dar significado e relevância a uma actividade que no nosso pressuposto inicial é complexa e merece atenção especial de quem investiga.

Em suma, neste trabalho, propusemo-nos:

1. Sistematizar e tratar informação relevante sobre a tecnologia fotovoltaica, na perspectiva do professor que vai leccionar o tema;
2. Reanalisar a actividade laboratorial AL 1.2 do programa de Física e Química A do 10.º ano (uma primeira análise foi realizada num trabalho prévio (Costa, 2003));
3. Fornecer um conjunto de informações e materiais que facilitem a implementação da actividade AL 1.2;
4. Desenvolver uma actividade de carácter experimental motivante e geradora de conhecimento, que surja como uma valorização da actividade AL 1.2.

#### **1.4 Estrutura da Tese**

Esta tese encontra-se organizada em seis capítulos, iniciando-se com a “*Introdução*”, onde se apresentam os pressupostos e os objectivos do estudo.

O capítulo 2, designado “*Efeito fotovoltaico: Conhecimento, Tecnologia e Sociedade*”, inicia-se com a descrição da evolução das células fotovoltaicas, destacando-se o seu papel

na Sociedade, no actual contexto energético e ambiental, e aborda-se posteriormente a física inerente ao funcionamento dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos, onde se encontra a informação que fundamenta as considerações feitas sobre a actividade experimental, que é objecto deste estudo.

No terceiro capítulo "*Problemática e metodologia*", apresenta-se a metodologia utilizada, seguindo-se o estudo da actividade "*AL 1.2 - Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico*" do programa de Física e Química A, ponto de partida deste trabalho e do qual resulta a problemática.

Segue-se o capítulo 4, onde se reúne algumas sugestões para a implementação da actividade experimental AL 1.2 e que se intitula "*Implementação da actividade experimental AL 1.2*".

No capítulo 5, designado "*Proposta de valorização da AL 1.2: da ideia à implementação*" descreve-se o percurso realizado desde a problemática considerada que resulta do estudo da actividade AL 1.2 à concepção e implementação de um Trabalho de Projecto intitulado "*Em pista... ligado ao Sol*", que pretende ser um contributo para uma valorização educativa da referida actividade.

Por último, surge o capítulo das "*Conclusões*", onde se resumem as principais ideias que se extraem deste trabalho, bem como as suas limitações e sugestões para iniciativas futuras.

Apresenta-se no anexo I uma sistematização da informação contida em cada um dos capítulos, salientando-se alguns pontos de particular importância para os professores e suas práticas.



## ***Capítulo 2 – O EFEITO FOTOVOLTAICO: CONHECIMENTO, TECNOLOGIA E SOCIEDADE***

Se as células fotovoltaicas são um produto do conhecimento científico e tecnológico, só por si, admirável, ganham ainda maior significado no contexto das relações com a sociedade e o ambiente, revelando-se deste modo um recurso pedagógico com um grande potencial quer no ensino da física, quer quando se pretende relevar a importância dessas inter-relações. Iremos debruçar-nos sobre esta tecnologia que vem ganhando espaço numa sociedade que cada vez mais, se vê obrigada a gerir os seus consumos de energia e as emissões de gases de efeito de estufa (GEE).

Podemos associar aos dispositivos fotovoltaicos uma questão paradoxal: eles são tão desconhecidos da população do nosso país, como tão difundidos. Quantas pessoas nunca avistaram um dispositivo fotovoltaico num parquímetro, no sinal de trânsito ou numa máquina de calcular? E quantas pessoas saberão o seu nome?

A sua introdução nos currículos nacionais é, como vimos, uma realidade, o que poderá contribuir para que comecem a ganhar outro significado, ou melhor, algum significado. Numa primeira instância, que sejam olhados como “pequenas caixas negras” que fornecem energia eléctrica porque o Sol brilha. Claro que, na perspectiva de formar cidadãos cada vez mais esclarecidos, será de esperar que estes conheçam um pouco mais do seu funcionamento, ou que, pelo menos, se espantem pelo seu valor, não só como um produto magnífico da imaginação humana, mas também como um dispositivo que serve a sociedade e o ambiente, ao contrário de algumas outras criações da humanidade.

Visitaremos neste capítulo o longo percurso que nos facultou a actual tecnologia fotovoltaica e as suas conquistas, a começar no espaço e, por fim, a conseguir a Terra. Apresentaremos algumas aplicações das células, desde o seu surgimento, em meados do século passado, até aos nossos dias, fazendo transparecer a sua crescente importância na nossa sociedade. Mostraremos ainda como o interesse manifestado na energia solar fotovoltaica tem evoluído ao longo dos tempos, bem como a performance da tecnologia.

Abordaremos o papel atribuído à tecnologia fotovoltaica nas políticas energéticas e nos compromissos estabelecidos e o potencial que lhe é reconhecido. Nesse sentido, mostraremos dois cenários traçados para a contribuição das energias renováveis, incluindo a fotovoltaica, para o ano de 2040.

Posteriormente, apresentaremos um texto onde pretendemos sistematizar e tornar acessível a não especialistas a informação que se considera relevante sobre a física das células fotovoltaicas, com vista a uma boa compreensão da actividade experimental na qual se centra este trabalho. Não se irão introduzir conceitos elementares como diferença de potencial (d.d.p.), corrente eléctrica, potência, rendimento, radiação electromagnética ou noções sobre a constituição da matéria, que sendo fundamentais para compreensão da física associada à energia solar fotovoltaica são parte integrante do currículo do ensino básico. A abordagem pretende ser feita a um nível intermédio, na perspectiva do professor que irá trabalhar o tema com os alunos, dando maior relevo a questões que, de alguma forma, estão ligadas à actividade experimental proposta pelo programa de FQ A.

Fazendo nossas as palavras de Lévy-Leblond (1995) com a devida adaptação, diríamos que este texto não é uma mera divulgação, uma simples partilha do saber. Trata-se de uma tentativa para melhor dominar este conhecimento. Sentimo-nos como intérpretes, como tão bem refere Lévy-Leblond, no duplo sentido da palavra: tradutores, como os tradutores de uma língua estrangeira, e executantes, como os executantes de uma obra de arte.

## **2.1 Terminologia fotovoltaica**

Tal como em qualquer área do conhecimento, existe uma terminologia específica associada à tecnologia fotovoltaica e cujos significados introduziremos sempre que nos pareça pertinente. Começamos por clarificar as noções de célula, módulo e painel, que por vezes são utilizados indistintamente. Depois apresentaremos a definição de potência de pico, grandeza utilizada na tecnologia fotovoltaica.

### 2.1.1 Dispositivos fotovoltaicos: Células, módulos e painéis

Na tecnologia fotovoltaica tradicional do silício cristalino, a célula é a unidade básica, à semelhança de uma peça de lego que pode fazer parte de uma construção, mas que pode existir por si só. As dimensões das células são muito variáveis, sendo geralmente quadradas e com alguns centímetros de lado.

Apresenta-se a título de exemplo, a representação e dimensões de uma célula “pseudoquadrada” de silício monocristalino, existente no mercado (figura 2.1). Tem uma espessura de 350-400  $\mu\text{m}$  e uma área de (103,5x103,5)  $\text{mm}^2$ . Como veremos, uma célula fornece uma potência pequena (cerca de 1,5 W, neste caso), pelo que, é geralmente necessário, associar várias células para que possam alimentar receptores de potências mais elevadas.

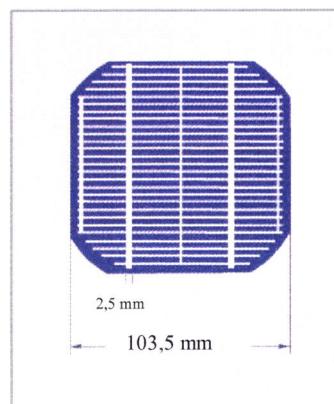


Figura 2.1 - Representação de uma célula de silício monocristalino, extraído de [1]

Designamos por módulos, o conjunto das células conectadas, em série ou em paralelo. Os módulos podem, por sua vez, ser associados, formando painéis. Às células, módulos e painéis chamamos genericamente dispositivos fotovoltaicos (figura 2.2).

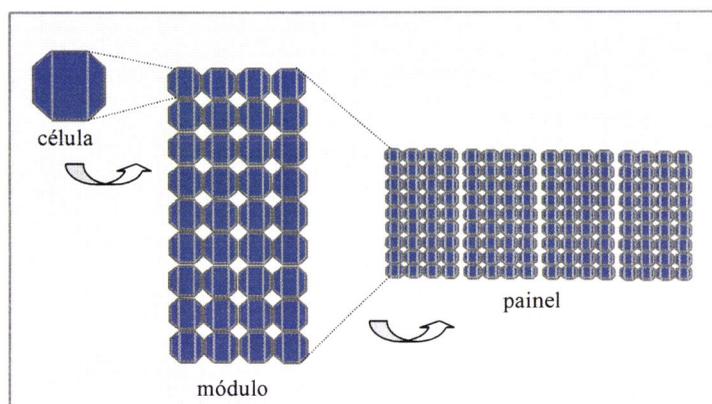


Figura 2.2 - Representação dos dispositivos fotovoltaicos: célula, módulo e painel

Em algumas tecnologias fotovoltaicas (como é o caso dos filmes finos) não existe o conceito de célula como unidade estrutural, dado que se fabrica directamente o módulo como peça elementar de várias dimensões, podendo chamar-se célula a um módulo que tenha dimensões reduzidas.

Num sistema, ao conjunto dos dispositivos fotovoltaicos que fornecem a energia eléctrica designa-se de gerador fotovoltaico. Este fornece a energia eléctrica aos receptores, em exclusividade, ou juntamente com outros geradores, constituindo, neste caso, um sistema híbrido.

### **2.1.2 Potência de pico**

O Watt pico (Wp) é uma unidade de potência específica da tecnologia solar fotovoltaica. Dado que a potência entregue por um módulo fotovoltaico depende de vários factores, como da irradiância incidente e da temperatura, estipula-se que cada Wp instalado deverá entregar a potência de 1 W quando submetido às condições padrão (irradiância de  $1000 \text{ W/m}^2$ , temperatura da célula de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e conteúdo espectral AM1,5).

Antes de introduzir o papel desta tecnologia na sociedade actual, iremos abordar alguns episódios que fazem parte da história do que hoje designamos por células fotovoltaicas. A possibilidade que desfrutamos de obter energia eléctrica em qualquer lugar, onde o Sol “chegue”, nasceu de uma observação acidental de Becquerel, há cerca de 150 anos.

## **2.2 Da condução dos líquidos ao interesse pela luz**

As tecnologias fotovoltaicas baseiam-se em materiais semicondutores, hoje nossos conhecidos, que permitem a transformação directa da energia solar em energia eléctrica, através do efeito designado por fotovoltaico. A palavra fotovoltaica deriva da palavra grega "*phos*" que significa luz e de "*Volta*", cientista italiano que deu o nome à unidade do sistema internacional de potencial eléctrico. A primeira célula fotovoltaica foi patenteada

---

em 1954, mas esta célula testemunha mais de um século de investigação. Os primeiros passos foram numa altura em que os semicondutores ainda não haviam reclamado a sua existência à comunidade científica e se estudava a condução em líquidos. Para irmos até ao que podemos considerar ser o princípio da história, da conversão da energia solar em energia eléctrica, teremos que recuar até ao ano de 1839 e ao trabalho de um dos físicos da família Becquerel.

### 2.2.1 Um século antes

Em 1839, o físico francês Alexandre Edmund Becquerel, na altura com apenas 19 anos, trabalhava como assistente de seu pai, Antoine César Becquerel, quando observou o aparecimento de um fenómeno físico responsável pela conversão de luz em energia eléctrica. Esta observação ocorreu quando realizava uma experiência com uma solução condutora e dois eléctrodos metálicos, verificando o surgimento de uma pequena diferença de potencial, quando estes eram expostos à luz. A observação deste efeito, denominado fotogalvânico, levou a comunidade científica a investigar o mesmo tipo de efeitos em sólidos (Rodrigues, 2006), abrindo caminho ao desenvolvimento de um dispositivo capaz de transformar directamente a energia solar em energia eléctrica, a célula fotovoltaica.

Em 1870, o efeito fotovoltaico foi estudado em sólidos como o selénio e foi em 1877, que W.G. Adams e R.E. Day construíram a primeira célula solar. Esta célula, baseada em dois eléctrodos de selénio, apresentava ainda uma eficiência muito reduzida (1-2%), pelo que este tipo de células nunca chegou a ser viável: os custos eram muito elevados e a eficiência muito reduzida.

O desenvolvimento de células fotovoltaicas teve que esperar por uma compreensão mais profunda dos semicondutores. A física clássica explicava a condução nos metais, mas entrava em contradição com os comportamentos observados nos materiais que constituíam as células fotovoltaicas e que surgiram, em 1911 na literatura, designados por *semicondutores* (Stahl, 2003). É no início do século XX, que surgem os grandes desenvolvimentos da física que abrirão caminho à compreensão do efeito fotovoltaico,

nomeadamente, a teoria de Max Planck e a explicação do efeito fotoelétrico por Albert Einstein, em 1905.

Neste mesmo ano, Antoine Henri Becquerel, filho de Edmund Becquerel, descobre o fenómeno da radioactividade, ao verificar que as suas películas fotográficas que não haviam sido utilizadas nas suas investigações e tinham sido guardadas numa gaveta junto com o minério que andava a estudar, estavam para surpresa sua, impressionadas. Foi da compreensão desta propriedade que se compreendeu ser possível obter energia a partir dos infinitamente pequenos e abundantes núcleos atómicos de algumas substâncias.

Observações acidentais, de pai e filho, abriram caminhos bem distintos, para obtenção de energia, ambos alternativos à utilização dos combustíveis fósseis. São ambas tecnologias não emissoras de gases de efeito de estufa e cujas matérias-primas, quer o silício quer o urânio, são bastante abundantes no nosso planeta.

### **2.2.2 A primeira célula e primeira viagem ao espaço**

A explicação do efeito fotovoltaico demorou mais de cem anos, sendo posterior às primeiras utilizações da energia nuclear. D.M. Chaplin e seus colaboradores, dos laboratórios da Bell Telephone, criaram em 1954, uma célula com 4,5% de eficiência que patentearam e publicaram o primeiro artigo sobre células solares em silício, designado “*A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power*” (Brito, Silva, 2006).

A tecnologia fotovoltaica usufruiu do grande interesse a que se assistia na altura, quer académico, quer da indústria electrónica e agências governamentais (incluindo militares), no estudo e desenvolvimento dos semicondutores (Stahl, 2003).

Inicialmente o desenvolvimento das células foi motivado pela procura de fontes de energia para sistemas de telecomunicações instalados em zonas remotas, sendo o segundo agente impulsor a exploração espacial. Os programas espaciais contribuíram para um avanço

significativo na tecnologia fotovoltaica, quer na melhoria do processo de construção, quer no aumento da eficiência das células e redução do seu peso. A primeira utilização das células no espaço foi como *backup* de uma pilha convencional que servia para alimentar um pequeno transmissor de 5 mW, no satélite *Vanguard I*, lançado em 1958. As células com uma área de 100 cm<sup>2</sup> produziam perto de 100 mW e tinham uma eficiência de conversão de 5%. Nesta altura as células eram consideradas uma curiosidade e NASA mostrou alguma relutância em incorporá-las. A pilha falhou e foram as células fotovoltaicas que mantiveram o transmissor em funcionamento durante os 8 anos em que o *Vanguard I* se manteve operacional (IEA, 2006).

Depois desse primeiro episódio, as células fotovoltaicas foram adoptadas para suprir todas as necessidades de energia eléctrica dos satélites da NASA. Actualmente utilizam-se células de silício na Estação Espacial Europeia com uma eficiência de 19% (Vallêra & Brito, 2006).

Em 1959, as células tinham atingido uma eficiência de 10% e iniciou-se uma nova era na produção das células fotovoltaicas. Nos anos seguintes construíram-se diversas instalações com diferentes aplicações, de que são exemplo: um painel fotovoltaico de 88 W numa universidade do Chile em 1960, que se destinava ao tratamento do cobre por electrólise; uma estação fotovoltaica em França que assegurava o funcionamento de uma baliza radioelétrica; a televisão educativa no Níger, o balizamento luminoso do aeroporto de Medina (com uma potência de 39 Wp) e retransmissores de televisão no Peru. (Juster, 1981). O maior painel do mundo era em 1963, um painel de 242 W instalado num farol.

### **2.2.3 A descida à Terra e a crise energética dos anos 70**

Em 1973 a com crise energética mundial houve uma tomada de consciência das possibilidades oferecidas pela energia solar fotovoltaica, o que deu origem a múltiplos programas de investigação destinados a ultrapassar duas barreiras tecnológicas fundamentais: o custo de produção e a eficiência de conversão, com fim a desenvolver uma indústria de células fotovoltaicas para aplicações no solo. Este cenário forçou ainda

---

grandes empresas do sector petrolífero a investirem maciçamente no desenvolvimento de energias alternativas. O grande esforço, nas décadas de 60 e 70, foi fazer da célula solar fotovoltaica um elemento com aplicação comercial, uma vez que os preços proibitivos restringiam, até então, a sua utilização a aplicações muito específicas, como era o caso, dos satélites espaciais.

A partir de 1975 assiste-se a um número crescente de instalações, em diversos campos, como: bombagem de água e irrigação, balizagens luminosas e radioeléctricas, retransmissores de televisão, estações de medição isoladas. Pode ver-se, no gráfico da figura 2.3, o decréscimo significativo que os custos dos módulos fotovoltaicos sofreram nas décadas de 70 e 80, continuando a tendência para a diminuição dos custos, mas menos acentuada, a partir de então.

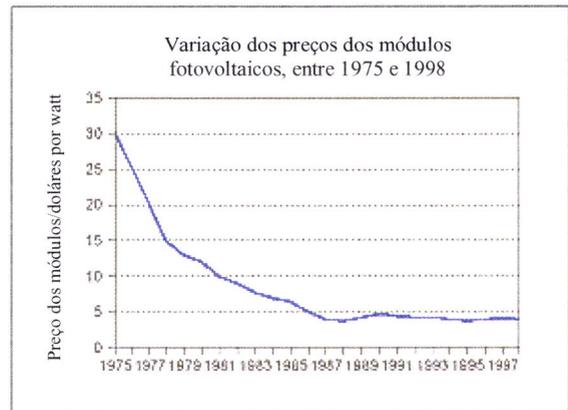


Figura 2.3 - Variação dos preços do módulos fotovoltaicos, entre 1975 e 1998, nos Estados Unidos, extraído de [2]

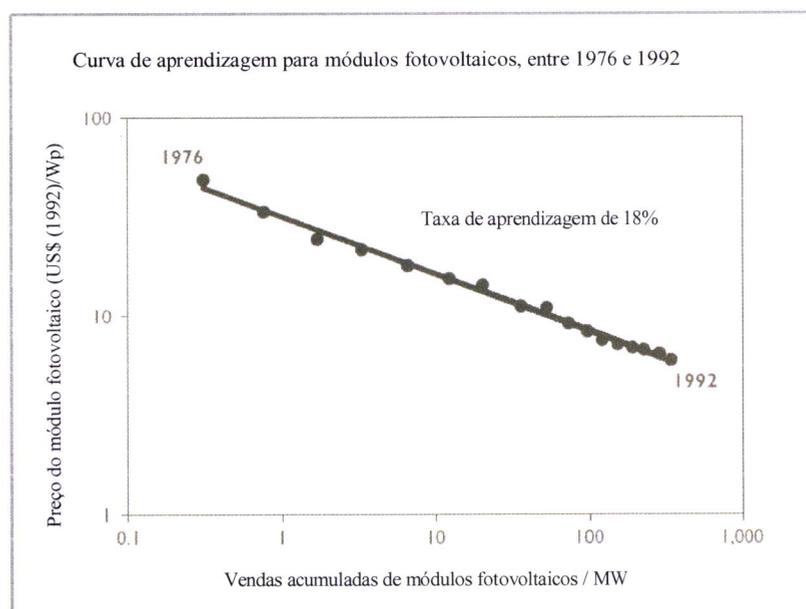
#### 2.2.4 A evolução dos custos e eficiências

É necessário que as energias renováveis apresentem preços acessíveis, de forma a poderem contribuir, da melhor forma, para a resolução dos problemas de aprovisionamento de energia, promovendo um impacto positivo sobre o ambiente, permitindo ainda, o cumprimento dos compromissos estabelecidos, nomeadamente, o Protocolo de Quioto.

Embora as energias renováveis tenham um papel significativo a desempenhar, é importante não ignorar determinadas dificuldades. Por um lado, existem limites técnicos e práticos no que refere à disponibilidade de energias renováveis com uma boa relação custo-eficácia, e por outro, algumas tecnologias como a eólica e solar, dependem da localização geográfica (Comissão das Comunidades Europeias, 2004)

Relativamente à energia fotovoltaica, as condições existentes em consequência da sua localização geográfica, na União Europeia são razoáveis, sendo Portugal particularmente privilegiado. No que diz respeito à relação custo-eficácia, esperam-se evoluções, dado que os custos são ainda bastante elevados. Espera-se uma continuada redução dos custos, relacionada com a aprendizagem resultante da experiência do mercado, dependendo esta, das vendas acumuladas.

A curva da figura 2.4, designa-se curva de aprendizagem e permite relacionar o custo dos módulos e as vendas acumuladas. Entre 1976 e 1992, a taxa de aprendizagem foi de 18%, o que significa que para cada duplicação da produção, os preços de mercado diminuem 18%. Isto traduz uma progressiva redução nos preços, à medida que aumenta a potência instalada.



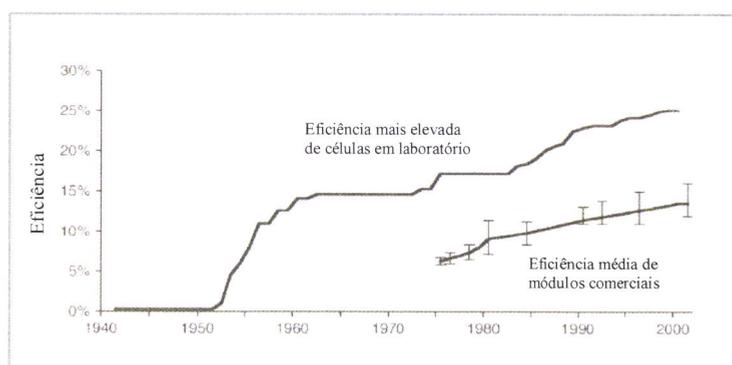
**Figura 2.4 - Curva de aprendizagem da tecnologia fotovoltaica, no mercado mundial, entre 1976 e 1992, extraído de (OECD & IEA, 2000)**

Se no início de uma tecnologia, a aprendizagem se faz mais rapidamente, ao fim de algum tempo, a duplicação do número de módulos vendidos é mais demorada. Contudo, assistimos actualmente a um crescimento acelerado da sua produção mundial anual (ver figura 2.9 da página 27), o que tornará mais célere a redução de custos.

Acompanhando este aumento crescente na produção, os valores registados para a eficiência dos módulos, ao longo dos anos, têm sofrido um aumento significativo, como ilustram os seguintes dados (Rodrigues, M. J., 2003):

“(…) em 1978 o custo de produção [de painéis monocristalinos] situava-se nos 21 euros/Wp para eficiências da ordem dos 2 por cento, enquanto que em 2001 estimou-se um custo inferior a 4 euros/Wp para eficiências da ordem dos 14 por cento.(…) foram alcançadas eficiências de 22 por cento para módulos cristalinos em ambiente pré-industrial e prevê-se que em 2010 se atinja um custo de produção entre 1 e 1,5 euros/Wp”.

Este aumento da eficiência das células e módulos de silício cristalino está documentado no gráfico da figura 2.5, que mostra os valores máximos de eficiência de células obtidos em laboratório e valor médio de eficiência dos módulos comerciais. Pode verificar-se o aumento muito significativo na eficiência alcançada para as células nos seus primórdios, na década de 50, bem como, o aparecimento da curva relativa à comercialização de módulos, como já referimos, se verifica na década de 70.



**Figura 2.5 - Evolução dos valores da eficiência de células e módulos de silício cristalino (Nemet, 2006)**

### 2.2.5 Três gerações de células

A célula fotovoltaica de silício cristalino, hoje com cerca de 50 anos de existência sofreu, como vimos, grandes evoluções, em termos de custos, de eficiência e de níveis de

---

produção, apresentando hoje já alguma maturidade. Outras tecnologias têm surgindo, umas com o objectivo de reduzir os custos, outras centradas no aumento da eficiência dos dispositivos, apresentando-se em diferentes fases do processo de maturação. Consideram-se, actualmente, três gerações de células:

A primeira geração baseia-se na tecnologia *standard* do silício cristalino, sendo que, é esta a geração que ainda hoje domina o mercado global e que teve início com a primeira célula fotovoltaica de silício monocristalino, concebida nos Laboratórios Bell.

A segunda geração baseia-se em tecnologias de películas finas sobre substratos rígidos (vidro ou cerâmica) e encontra-se na transição da fase piloto para a fase industrial. Esta geração foi motivada pela necessidade de reduzir os custos das células, essencialmente através do desenvolvimento de materiais de mais baixo custo e de processos de produção mais eficientes. Foi em 1976, que surgiu a primeira tecnologia da geração do filme fino, as células em silício amorfo hidrogenado (a-Si:H). Os filmes finos não têm tido o desenvolvimento de mercado esperado, em parte por problemas de estabilidade (células de a-Si:H) e devido a alguma prudência na introdução de filmes cujo impacto ambiental possa ser negativo (caso das células de CdTe).

A terceira geração corresponde ao aparecimento de novos materiais, de novos conceitos de arquitectura da célula e à utilização de materiais especiais para aplicações específicas, de que são exemplo, as células cristalinas transparentes para a integração em edifícios. Encontram-se em fase de desenvolvimento laboratorial nanotecnologias para deposição de películas finas sobre substratos flexíveis, ou mesmo, sob a forma de tintas e células de múltiplas junções para melhor aproveitamento do espectro solar.

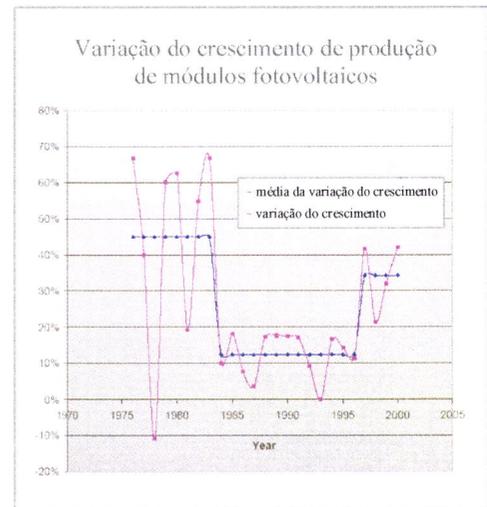
### **2.2.6 A Era Verde**

As necessidades do mercado foram permitindo, como vimos, uma redução significativa nos custos e a tecnologia fotovoltaica foi evoluindo, registando diferentes fases no seu crescimento.

As oscilações no interesse revelado pela tecnologia fotovoltaica são visíveis no gráfico da figura 2.6, que mostra a variação do crescimento de produção de módulos fotovoltaicos (a rosa) e a média dessa variação (a azul), em períodos em se verificam tendências diferenciadas.

Handleman (s.d.) considera a existência de três Eras referentes a esses períodos: a Era da crise energética, que já referimos, à qual se segue a “*glut energy Era*” e, por fim, a Era Verde.

Na primeira assiste-se a um crescimento significativo da procura deste tipo de tecnologia, registando-se posteriormente a uma quebra acentuada na “*glut energy Era*”. O interesse no fotovoltaico ressurgiu, na Era Verde, que se refere à última década e é caracterizada por um aumento significativo na produção de módulos. Esta denominação prende-se com o facto da motivação deste crescimento ser, numa primeira instância, ambiental.



**Figura 2.6 - Gráfico da variação do crescimento de produção de módulos fotovoltaicos e média dessa variação por "Era" (Handleman, s.d.)**

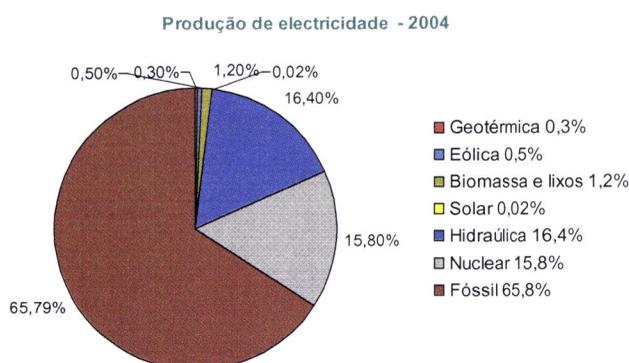
Segundo Brito (2004) a época em que vivemos é de transição para a Era o autor designa como “Solar”:

A satisfação das necessidades energéticas dos dez mil milhões de habitantes do planeta Terra em 2025 terá necessariamente que passar pela utilização de fontes de energias renovável. Mas a mudança de paradigma energético terá que ser necessariamente acompanhada por alterações profundas - há quem lhes chame reestruturantes – do modo de pensar e do modo de fazer.

Seremos testemunhas da descentralização não só da produção de energia mas também da produção industrial e das trocas comerciais, do desenvolvimento sustentável, do reordenamento dos territórios e da economia. Aproxima-se a era Solar.

Neste momento assiste-se a um reconhecimento dos benefícios das energias renováveis, em geral, perspectivando-se que a energia solar que, contribui actualmente com uma reduzida fatia, cerca de 0,1% do bolo das energias renováveis, possa vir a tomar um lugar de maior relevo.

O gráfico da figura 2.7 mostra a estrutura da produção de electricidade em 2004.



**Figura 2.7 - Estrutura da produção mundial de electricidade em 2004 por fonte (Observ'er, 2005)**

A preocupação ambiental cresce, influenciando qualquer política que vise a sustentabilidade. O factor económico, desde sempre central, começa a surgir inevitavelmente indissociado de outros factores, como os ambientais. Segundo o Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre "Fontes de Energia Renováveis" (2006), a política energética na União Europeia tem de enfrentar actualmente três grandes desafios: assegurar a segurança do aprovisionamento energético, responder a necessidades económicas e reduzir os efeitos no ambiente. As fontes de energia renováveis adquirem, neste contexto, um papel de grande relevo.

No relatório da Comissão das Comunidades Europeias sobre "A quota das energias renováveis na UE" (2004) destaca-se igualmente o papel de relevo atribuído às energias renováveis, quer pela necessidade de aprovisionamento, quer por questões ambientais e sociais:

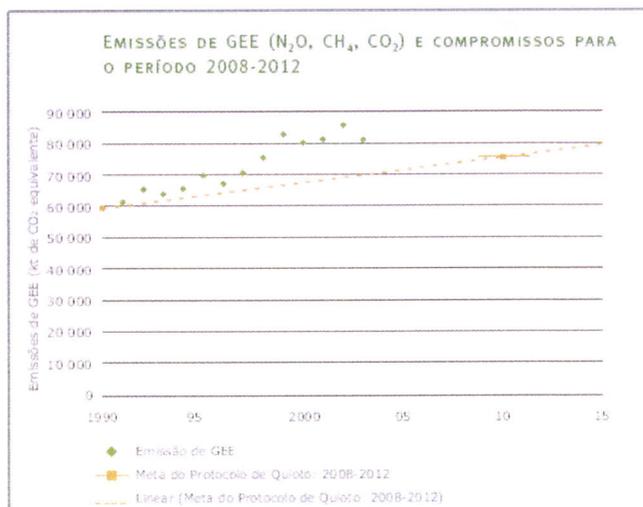
“Enquanto substituto dos combustíveis fósseis, as energias renováveis podem ajudar na luta contra as alterações climáticas. Além disso, podem reforçar a segurança do aprovisionamento ao contribuírem para a diversificação da produção de energia. Os seus efeitos na protecção da qualidade do ar e na criação de novos postos de trabalhos e empresas, muitas em áreas rurais, também jogam a seu favor. Actualmente, o investimento em energias renováveis não é, de forma geral, a maneira mais barata para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa. Fica menos caro utilizar a energia de modo mais eficiente. No entanto, numa perspectiva de longo prazo, o investimento nas energias renováveis é fundamental.”

O incentivo às várias energias renováveis passa pelo reconhecimento dos seus benefícios, o que parece ser, já uma realidade, a ver pelas políticas delineadas pela União Europeia. Foram adoptados vários instrumentos jurídicos que visam promover as energias renováveis e a eficiência energética, de forma a atingir a meta geral de, em 2010, alcançar 12% de energias renováveis no consumo bruto de energia (que foi em 2005 de 5,2%). Um dos instrumentos elaborados foi a Directiva Europeia 2001/77/CE, o primeiro texto legislativo aprovado pelo Conselho e pelo Parlamento Europeu explicitamente com o objectivo de desenvolver as energias renováveis, considerando-as vectores estratégicos na protecção ambiental e no desenvolvimento sustentável (Sousa, Pregitzer, Martins, Afonso, 2005). Esta directiva visa, mais especificamente, promover o aumento da contribuição das fontes de energia renováveis para a produção de electricidade no mercado interno da electricidade, por considerar que, o potencial das fontes de energia renováveis está presentemente desaproveitado na Comunidade.

Nos termos desta directiva, Portugal adoptou como meta, para 2010, a produção de 39% da energia eléctrica final, a partir de fontes de energia renovável. Definiram-se metas nacionais para cada um dos Estados-Membros, resultando no conjunto, uma intenção de a Europa dos 15 (UE 15) atingir, em 2010, uma cota de 22%, de energia eléctrica consumida a partir de fontes renováveis, (em comparação com 14% em 2000). Este valor foi revisto após a entrada dos novos Estados-Membros, passando a meta da UE 25 para 21%.

Por outro lado, no contexto da adesão ao Protocolo de Quioto, Portugal assumiu o compromisso de uma contenção no crescimento, das suas emissões de gases de efeito de estufa para o período de 2008-2012, de um máximo de mais 27% relativamente a 1990.

O gráfico da figura 2.8 mostra as emissões de GEE (a verde) e a sua relação com os compromissos estabelecidos (a amarelo).



**Figura 2.8 - Emissões de GEE e compromissos para o período 2008-2012, extraído de [3]**

Na comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu, A quota das energias renováveis, (2004) considera-se que Portugal se encontra “fora do bom caminho” para o cumprimento desse objectivo, pelo que se reconhece serem necessárias medidas que permitam inverter esta tendência. O aumento da produção de electricidade a partir de fontes de energia renováveis, com exclusão da energia hídrica, aumentou apenas 1 TWh, desde 1997 (até 2003), sendo necessário para que atinja a sua meta nacional mais 14 TWh.

Estas medidas estão contempladas na Estratégia Nacional para a Energia aprovada na Resolução do Conselho de Ministros N.º 169/2005 de 24-10-2005, que revoga a Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2003 e que definia as linhas de orientação da política energética portuguesa, à data. Em resultado da rápida evolução que o sector energético experimenta, foi apresentada então uma nova estratégia, onde se reforça, entre outras questões, a necessidade da exploração das energias alternativas (RCM n.º 169/2005):

“ A diversificação dos abastecimentos, através da pluralidade de fornecedores e de fontes de energia, deve contribuir não só para garantir a segurança do abastecimento mas também para tornar mais eficaz e menos poluente o sistema energético nacional. De facto, há que ter presentes os compromissos assumidos por Portugal no âmbito do Protocolo de Quioto, bem como as medidas previstas no PNAC, os quais visam uma redução das emissões de gases de efeito de estufa. Sabendo-

se que grande parte dessas emissões decorrem da produção da energia eléctrica à base de combustíveis fósseis, urge investir em fontes alternativas de energia que se revelem menos poluentes.”

A importância da energia solar fotovoltaica é reforçada pela crescente consciencialização do negativo impacto ambiental resultante das emissões crescentes dos gases de efeito de estufa e, por outro lado, pelos sucessivos aumentos do preço do petróleo.

Foi elaborado um programa de actuação, e aprovado no Conselho de Ministros N.º 171/2004, para fazer face ao cenário actual de elevados preços do petróleo e suas implicações a nível da factura energética. Nesse documento podemos ler que:

“A recente evolução do preço do petróleo – apesar de não ser tão grave, em termos reais, como aquela verificada nos anos 70 e 80 –, coloca em risco parte do crescimento económico sustentado em Portugal. O país deverá ser mais afectado do que os restantes países europeus dada a sua maior intensidade energética e a sua maior dependência energética do petróleo (o peso das importações de petróleo, face ao PIB, é três vezes mais elevado em Portugal do que na média dos restantes países da União Europeia)” (Projecto de redução da dependência do petróleo. 2004).

Este programa visa a redução da intensidade energética de Portugal até 20%, e da sua dependência do petróleo igualmente em cerca de 20%, passando de 64% para 51%, até 2010. Pretende ainda, reduzir a factura energética e promover um impacto positivo no ambiente. Estes objectivos passam inevitavelmente por um estímulo à produção de energia eléctrica utilizando fontes de energia renováveis, onde se inclui a energia fotovoltaica.

Em suma, a tecnologia fotovoltaica continua a evoluir, oferecendo cada vez melhores *performances* e novas soluções, sendo ela própria parte da solução, para alguns dos grandes desafios da actualidade.

### **2.3 O potencial da energia solar fotovoltaica**

Para analisar o potencial desta tecnologia iremos adoptar os itens considerados no Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre Fontes de energia renováveis (2006) para

---

caracterizar a situação actual e o desenvolvimento das várias energias renováveis, incluindo a fotovoltaica. Iremos, contudo, dar maior relevo às questões ambientais, discutindo qual o verdadeiro impacto desta tecnologia actualmente.

### 2.3.1 Desenvolvimento e crescimento recentes

Assiste-se, actualmente, a um crescimento acelerado na produção mundial de células, como se constata no gráfico da figura 2.9.

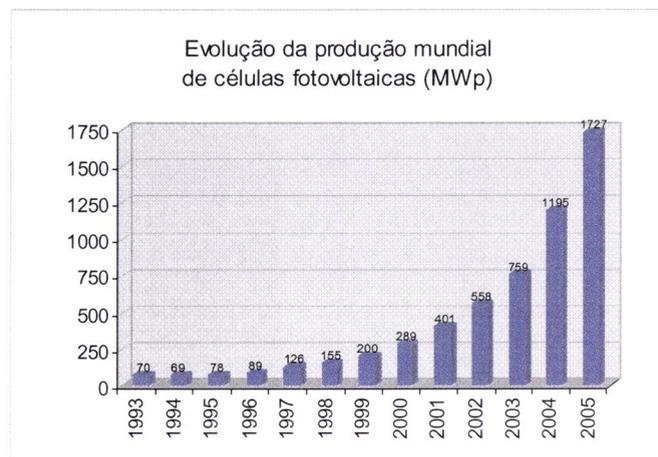


Figura 2.9 - Produção mundial de células fotovoltaicas, de 1993 a 2005 (Baromètre Photovoltaïque EurObserv'ER, 2006)

Em 2005, os países onde foi maior a potência fotovoltaica instalada foram a Alemanha, o Japão e os Estados Unidos, como mostra o gráfico da figura 2.10, sendo em Espanha que se verificou maior expansão no mercado, de 108% [4].

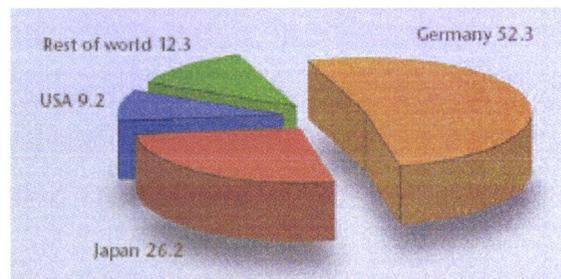


Figura 2.10 - Gráfico da capacidade instalada em 2005 considerando o mercado global do solar fotovoltaico, extraído de [4]

### **2.3.2 Papel nos sistemas eléctricos e implicações nas redes**

A energia fotovoltaica tem-se revelado uma opção em locais isolados, onde não há ligação à rede, necessitando nestes casos, de um sistema de acumulação de energia. No caso de um sistema ligado à rede, ele produz a sua própria energia e encaminha o excedente para a rede, na qual também se abastece, em caso de necessidade. Desta forma, não são necessárias baterias para acumular energia.

Os sistemas de produção de energia fotovoltaica ligados à rede resultam da tendência para a descentralização da produção de energia eléctrica. A energia é produzida num local mais próximo do seu consumo e não apenas por grandes centrais térmicas ou hídricas, permitindo reduzir custos e perdas associados ao transporte. Contribui-se para a diminuição das emissões de GEE e, em alguns casos, para melhorar as condições de vida de milhares de pessoas que não têm, de outra forma, acesso ao fornecimento de energia eléctrica.

Inicialmente, os sistemas fotovoltaicos eram instalados essencialmente em locais afastados da rede, permitindo o acesso à energia eléctrica, verificando-se actualmente no nosso país, um interesse crescente na instalação de sistemas com ligação à rede. Isto deve-se em parte, aos incentivos criados, tendo-se estabelecido um preço de venda da energia produzida nestes sistemas consideravelmente superior ao da compra.

### **2.3.3 Economia, incluindo sistemas de apoio**

Como vimos os custos associados a esta tecnologia são relativamente elevados, seguindo no entanto, a tendência para continuarem a diminuir. “Em média, o preço dos módulos diminuiu cerca de 5 %/ano nos últimos 20 anos e calcula-se que continue a diminuir O actual custo de capital de um sistema instalado fotovoltaico típico varia entre 5€/W a 8€/W, o que torna, actualmente, a electricidade fotovoltaica a forma de energia renovável sem dúvida mais dispendiosa” (Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre Fontes de energia renováveis, 2006).

Existem alguns benefícios fiscais e a taxa do IVA aplicada é a taxa intermédia de 12%, sendo a electricidade solar com ligação à rede subsidiada através do regime de tarifas garantidas (Produção em Regime Especial).

### 2.3.4 Disponibilidade e papel na segurança do aprovisionamento

O aumento do consumo mundial de energia tem crescido exponencialmente e com ele vários problemas se intensificam, nomeadamente, os ambientais e o provisionamento dos recursos. A energia fotovoltaica é uma tecnologia de emissão zero e pode contribuir para aumentar a segurança do aprovisionamento energético.

A figura 2.11 mostra a evolução da produção total de energia e de energia eléctrica no último século e a antevisão para os próximos dois, segundo a tendência actual e segundo uma perspectiva de desenvolvimento sustentável. A curva 1 representa o total de energia produzida; a curva 2 a produção de energia eléctrica e a 3 é a curva que corresponde à antevisão da situação que traduz um desenvolvimento sustentável. A área a preto corresponde ao desfaseamento das duas situações, admitindo um desenvolvimento sustentado e segundo a tendência actual. O valor de “e” corresponde à energia solar que incide anualmente na superfície da Terra e toma o valor de  $7,2 \times 10^{17}$  kW.h.ano<sup>-1</sup>.

Segundo o gráfico, um desenvolvimento sustentável é possível apenas no caso da energia produzida não ultrapassar o valor de  $10^{16}$  kW.h.ano<sup>-1</sup>.

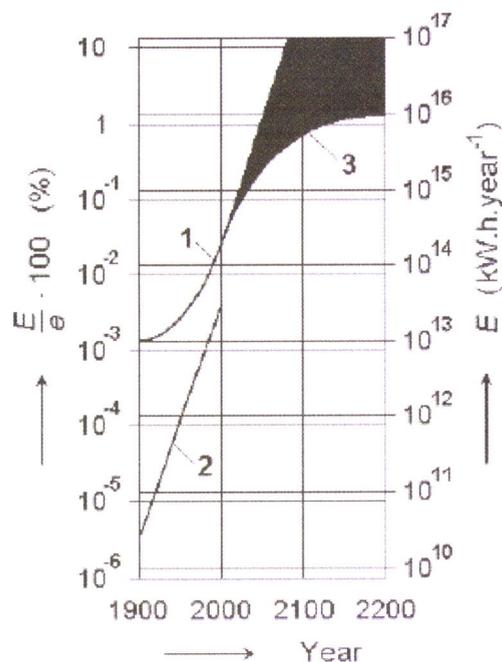


Figura 2.11 - Energia total e eléctrica produzidas no último século e a antevisão para os próximos dois (Poulek, s.d.)

Podemos ainda verificar que a energia solar que chega à superfície terrestre num ano é cerca de 1000 vezes superior à produção de energia eléctrica actual. Esta obtém-se contudo, maioritariamente, através dos combustíveis fósseis (65,8%), tendo o Sol uma fatia quase desprezável na produção de energia eléctrica (0,02%).

### **2.3.5 Desempenho ambiental**

#### 2.3.5.1 Considerações gerais

No que diz respeito à poluição produzida por estes sistemas, é comum referir-se que “não gera poluição nem contaminação ambiental” (Araújo, Martins, Rodrigues, 2002, Brito, 2001). Na realidade, a contaminação ambiental é reduzida, mas deve ser considerada quando se fala de produção em larga escala de painéis fotovoltaicos. É apenas na fase de produção e desmantelamento que surgem alguns problemas, que dependem do tipo de célula produzida e estão associados à possibilidade de fuga de certas substâncias tóxicas e à produção de elevadas quantidades de resíduos. Na fase operacional o impacto ambiental é nulo.

As baterias que fazem parte de grande número de sistemas fotovoltaicos apresentam riscos mais sérios para o ambiente e para a saúde humana. As baterias podem conter chumbo, metais pesados, ácidos e outras substâncias químicas perigosas e têm, por outro lado, um tempo de vida mais curto do que os módulos, podendo variar entre 3 a 10 anos.

#### 2.3.5.2 Factores que permitem avaliar a tecnologia fotovoltaica do ponto de vista ambiental

Antes de mais, é importante compreender até que ponto se pode considerar a tecnologia fotovoltaica viável do ponto de vista energético e ambiental. Antes de se ponderar a viabilidade económica de um projecto fotovoltaico, há que avaliar o seu significado do ponto de vista energético e ambiental.

A tecnologia fotovoltaica é limpa no local e não emite gases de efeito de estufa, mas para se produzir, instalar e posteriormente desmantelar e reciclar um sistema fotovoltaico, no final da sua vida, despende-se uma certa quantidade de energia, que deverá ser reembolsada para que seja considerada renovável e limpa.

Para avaliar o impacto da utilização da tecnologia fotovoltaica, podemos considerar 3 indicadores: O *factor de retorno energético*, o *tempo de retorno* e a *mitigação de CO<sub>2</sub>* promovida por um sistema fotovoltaico.

Os dois primeiros indicadores mencionados estão relacionados com a energia consumida pelo sistema fotovoltaico durante a sua vida, porque este é considerado o factor que mais contribui para o impacte ambiental da tecnologia de silício cristalino; o último remete directamente para questões ambientais.

1) O *factor de retorno energético* é definido pela razão entre a energia gerada pelo sistema fotovoltaico em todo o seu ciclo e vida e o total de energia consumida.

$$\text{Factor\_de\_retorno\_energético} = \frac{\text{total\_energia\_produzida}}{\text{energia\_consumida\_FV}}$$

Nem sempre este balanço energético foi, ao longo da evolução das células fotovoltaicas, positivo. Isto é, a energia que é dispendida na produção dos dispositivos fotovoltaicos era superior à energia gerada por estes na sua fase de funcionamento. Actualmente, isto já não acontece, mas o valor do factor de retorno da energia estará dependente, entre outros factores, do local onde o sistema é instalado, dado que a energia que pode fornecer depende directamente dos valores a irradiância no local.

Considerando um tempo de vida de 30 anos, o factor de retorno de energia toma valores entre 8 e 18 para sistemas fotovoltaicos no telhado e 5,4 e 10 para sistemas em fachadas.

2) O *tempo de retorno* é definido pela razão entre a energia consumida pelo sistema fotovoltaico em todo o seu ciclo e vida e a produção anual de energia pelo sistema na fase de funcionamento.

$$\text{Tempo\_de\_retorno\_energético(anos)} = \frac{\text{energia\_consumida\_FV}}{\text{energia\_produzida\_anualmente}}$$

O tempo de retorno da energia (*energy pay-back time*) de um sistema completo (painéis, cabos e subsistemas electrónicos) depende igualmente da irradiância no local e toma valores entre 19 a 40 meses, para sistemas fotovoltaico no telhado e entre 32 e 56 meses para sistemas em fachadas.

3) O terceiro factor é ambiental, ou seja, permite-nos avaliar a vantagem da instalação de um sistema, no que diz respeito às emissões de GEE. Isto dependerá, igualmente do local, na medida em que se tem em conta as emissões locais consequentes do “*mix*” das fontes de energia aí utilizadas. *A mitigação de CO<sub>2</sub> promovida por um sistema fotovoltaico* mede a quantidade de GEE poupados por este e calcula-se através do produto da energia produzida em toda a sua vida com a quantidade média de emissões de CO<sub>2</sub> produzidas pelo fornecimento da energia do local.

$$\text{Mitigação\_de\_CO}_2(\text{ton\_de\_CO}_2/\text{kWp}) = \text{total\_energia\_produzida} \times \text{qdeCO}_2\text{\_emitida\_mix}$$

Por cada kWp instalado, um painel poderá poupar até 40 ton de CO<sub>2</sub> durante toda sua vida, ou 23,5 ton, no caso estar integrado numa fachada.

Estes valores foram obtidos num estudo intitulado “*Compared assessment of selected environmental indicators of photovoltaic electricity in OECD cities*” que apresenta valores para estes indicadores relativamente a diversas cidades dos países da OCDE, dos quais salientamos os referentes à cidade de Lisboa e os gráficos que nos permitem comparar estes resultados com os das restantes cidades, para cada um dos indicadores (IEA, 2006). Neste estudo foram considerados painéis de silício policristalino, colocados em telhados com uma inclinação de 30° e em fachadas verticais, sempre virados a Sul. Pela análise da figura 2.12 podemos verificar que Lisboa é um local onde a utilização desta tecnologia é em termos energéticos bastante favorável, em consequência dos elevados níveis de irradiância que caracterizam o nosso país.

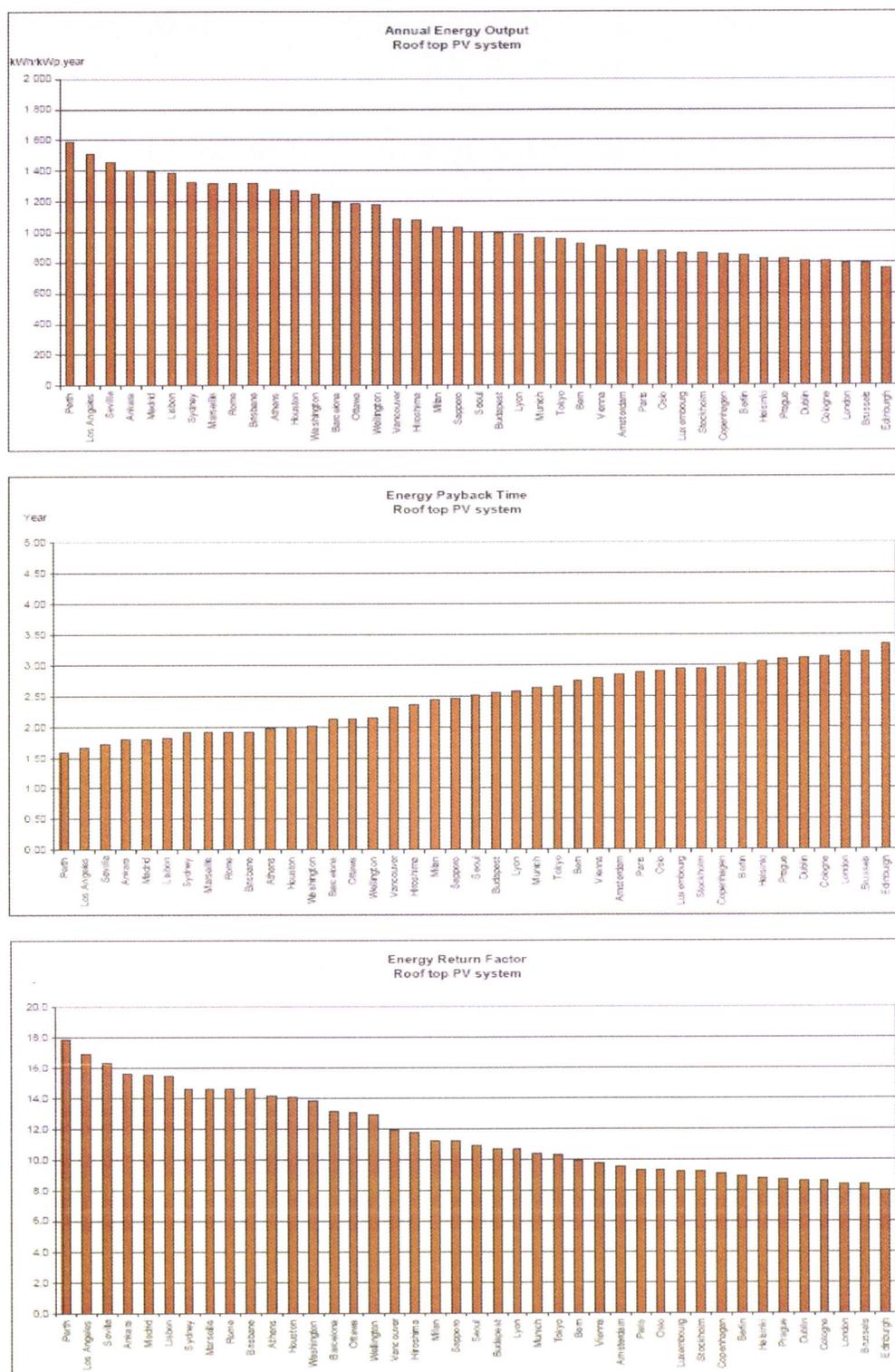
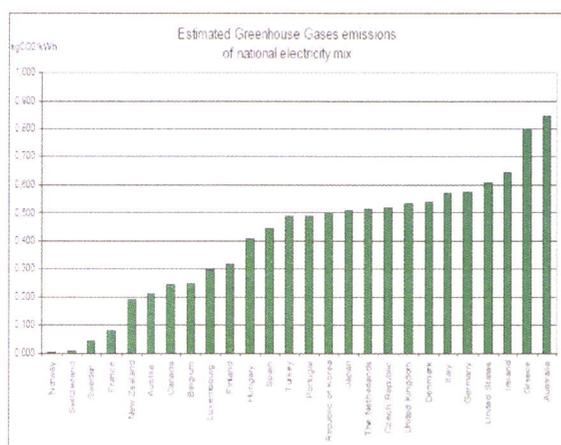
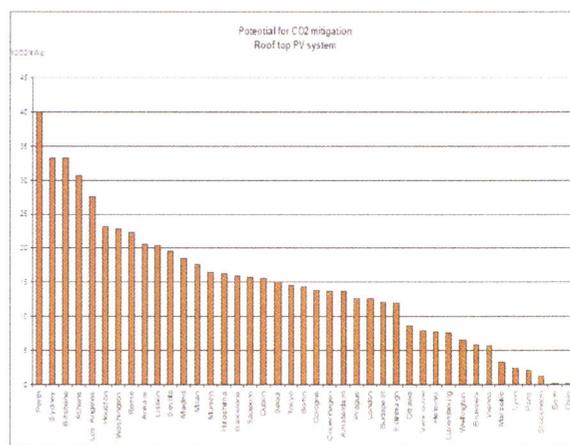


Figura 2.12 - Energia anual fornecida por um sistema fotovoltaico e valores relativos aos indicadores energéticos, para várias cidades da OCDE, extraído de IEA (2006)

Os níveis de mitigação de CO<sub>2</sub> são relativamente elevados (gráfico 2.13b) comparativamente às restantes cidades e haverá tendência para serem mais significativos em anos em que a contribuição da hídrica surja diminuída no *mix* das fontes de energia utilizadas no nosso país. As emissões de GEE são generosas quando comparadas com os restantes países (gráfico da figura 2.13a) e se tivermos em conta o enorme potencial do nosso país no que respeita à utilização de energias renováveis de emissão zero.



**Figura 2.13a - Emissões de GEE dos países da OCDE (IEA, 2006)**



**Figura 2.13b - Níveis de mitigação do CO<sub>2</sub> em várias cidades dos países da OCDE (IEA, 2006)**

### 2.3.6 Perspectivas de crescimento e papel futuros

#### 2.3.6.1 Metas para a União Europeia e para Portugal

Segundo o Parecer do Comité Económico e Social n.º 2006/C 65/20 de 15-12-2005 "O objectivo da Comissão Europeia de 3 000 MWp em 2010 é alcançável, mas o seu sucesso depende sobretudo da vontade política de cada Estado-Membro".

Na Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005 de 24-10-2005 podemos ler que:

"Portugal assumiu o compromisso de produzir, em 2010, 39% da sua electricidade final com origem em fontes renováveis de energia. Tendo tal valor sido já atingido pontualmente no passado, em anos húmidos, alcançá-lo no futuro tem-se revelado poder ser problemático, dado que a taxa de crescimento anual dos consumos de electricidade (5% a 6%, por ano, em média) tem superado a capacidade de incremento da produção baseada em fontes renováveis de energia, tanto mais que a variabilidade da hidraulicidade afecta seriamente esses resultados."

Por outro lado, atribui-se aos edifícios, residenciais e serviços, o consumo de mais de 60% da electricidade disponibilizada ao consumo, pelo que se "a electricidade é um problema para as emissões de CO<sub>2</sub>, os edifícios têm de ser parte da sua solução" [RCM 69/2005]. Nesta perspectiva a utilização da energia solar fotovoltaica, quer em sistemas ligados à rede quer em sistemas isolados, apresenta-se como uma solução.

#### 2.3.6.2 Cenários para 2040

Segundo o estudo da European Renewable Energy Council (EREC, 2004) dois cenários se apresentam para o peso das Energias Renováveis no consumo energético mundial (este último determinado com base num estudo da IEA).

Um primeiro cenário prevê respectivamente um peso de 50% e 82% de Fontes Renováveis no consumo total de energia e no consumo total de energia eléctrica. Todavia, este cenário assume significativos pressupostos políticos, sociais e económicos, sendo considerado pelo próprio EREC como um cenário optimista.

O gráfico da figura 2.14 mostra os cenários de evolução das diferentes Fontes de Energias Renováveis e o seu peso no total da energia produzida.

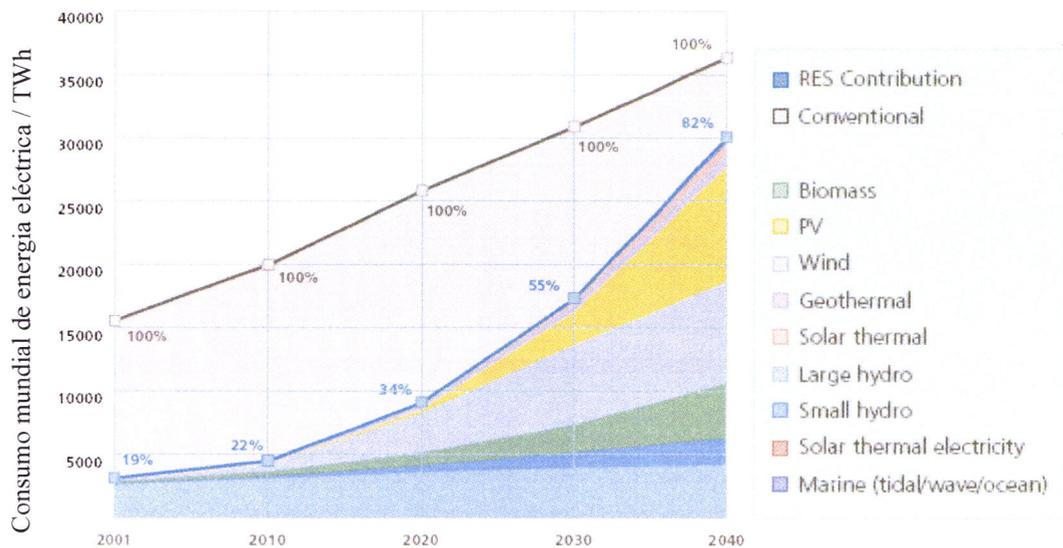


Figura 2.14 - Cenário 1 para a contribuição das Fontes de Energias Renováveis até 2040 (EREC, 2004)

No segundo cenário pressupõe-se por um lado, uma menor evolução do uso de Energia por Fontes Renováveis derivado de uma menor consciencialização política, económica e ambiental, resultando por outro lado, num aumento superior ao previsto no cenário 1 do próprio consumo global de energia (dada a ineficiência da sua utilização). Este cenário projecta para 2040 um contributo total de 27,4% de Fontes Renováveis no consumo total e de 47,7% de Fontes Renováveis no consumo total de energia eléctrica (figura 2.15).

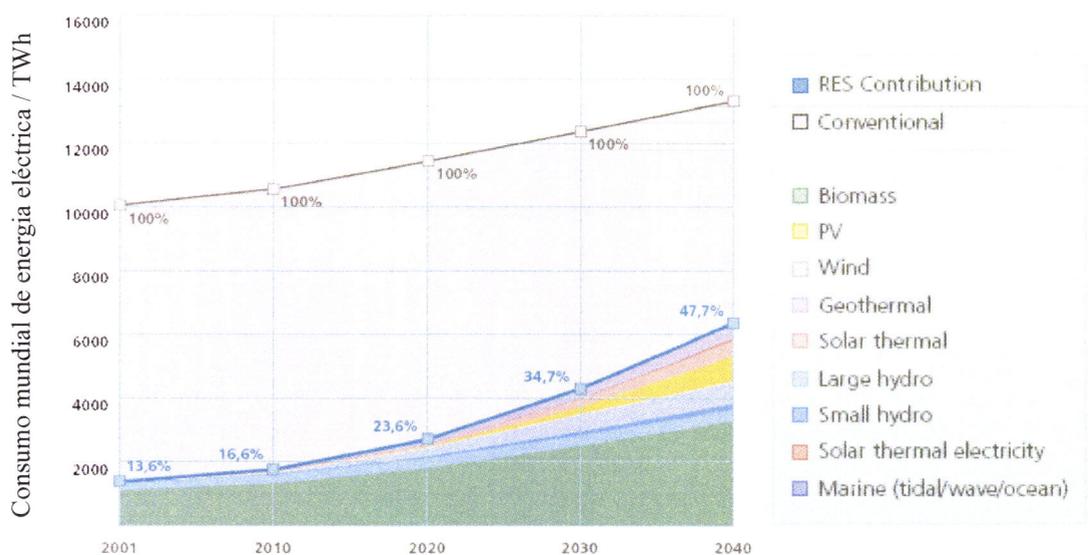


Figura 2.15 - Cenário 2 para a contribuição das Fontes de Energias Renováveis até 2040 (EREC, 2004)

Salienta-se que em qualquer um dos cenários apresentados que a maior evolução diz respeito à tecnologia fotovoltaica.

No ponto que se segue iremos abordar o funcionamento dos dispositivos e sistemas fotovoltaicos.

## **2.4 - O carro "anda porque o Sol brilha"**

Na actividade que propomos como alternativa à AL 1.2 do programa e que descreveremos pormenorizadamente no capítulo 5, criámos como contexto uma corrida de carrinhos que andam porque o Sol brilha. Estes carrinhos possuem um motor eléctrico, que não utiliza pilhas ou baterias para obter energia eléctrica, mas uma célula fotovoltaica, que converte em energia eléctrica a energia que nos "chega" do Sol. Deste modo, o motor funciona porque o Sol brilha... e o carro anda.

A energia eléctrica que faz funcionar o motor do nosso carro, ocupa na nossa sociedade um lugar de enorme importância como vimos, mas não está presente na natureza como fonte de energia primária, pelo que é necessário obtê-la a partir da transformação de outras formas de energia. A electricidade começou por ser obtida a partir de energia química através de pilhas, sendo mais tarde obtida a partir da energia mecânica com a utilização de dínamos e alternadores. Actualmente, é essencialmente produzida em grandes centrais, em que as fontes de energia primárias são os combustíveis fósseis e os nucleares ou ainda em centrais hidroeléctricas.

Esta era a realidade, em que pensava o pai de Feynman, quando contava a história da grande roda, que era posta a rodar por uma queda de água, que através de infindáveis fios fazia com que as pequeninas rodas pusessem a rodar, quando rodava a grande roda (ver capítulo 1, página 3). A história descreve a situação tradicional de produção centralizada de energia. Por outro lado, nesta altura, ainda não se concebia a existência de um dispositivo capaz de converter directamente a energia solar em energia eléctrica, caso contrário, talvez pai de Feynman pudesse contar que as pequeninas rodas rodam porque o

Sol brilha, à semelhança do nosso carro. Neste caso, não seria necessário o sistema de grandes e pequeninas rodas da história de seu pai, uma vez que a conversão é directa, de energia solar em energia eléctrica. Em suma, hoje sabemos que, quando o Sol brilha, podem ser colocadas a funcionar directamente pequeninas rodas como no nosso carrinho (em sistemas autónomos) ou grandes rodas que farão rodar as pequeninas rodas (no caso de centrais fotovoltaicas).

A energia proveniente do Sol pode ser utilizada para produzir electricidade através de processos fototérmicos e fotovoltaicos. No primeiro caso, o princípio de funcionamento é muito semelhante à das centrais térmicas convencionais, sendo o aquecimento conseguido através da concentração da radiação solar. No segundo, do fotovoltaico, a energia solar é convertida directamente em energia eléctrica através de dispositivos designados por células fotovoltaicas.

A potência eléctrica fornecida por estas células depende da sua capacidade de conversão, mas também da quantidade de energia que se tem disponível, ou seja, da energia radiante que sobre ela incide e que é variável. Antes de nos focarmos no funcionamento destes dispositivos, iremos abordar alguns conceitos importantes relativos à produção de energia a partir do Sol. Começemos por definir duas grandezas físicas fundamentais, neste contexto: a *irradiância* e a *insolação*. Seguidamente, abordaremos algumas noções relacionadas com a radiação que incide na superfície terrestre, nomeadamente, as noções de *constante solar*, de *radiação directa*, *difusa* e *reflectida* e de *massa de ar*. Caracterizaremos a distribuição espectral do Sol para diferentes massas de ar e descreveremos alguns dos factores, atmosféricos e geométricos, que afectam a radiação solar que chega à superfície terrestre.

## 2.4.1 Alguns conceitos fundamentais

### 2.4.1.1 Irradiância e insolação

Para expressar a potência solar ou de outra radiação, utiliza-se o termo irradiância ( $G$ ), ou seja, a rapidez de incidência da energia radiante sobre uma superfície por unidade de área,

em  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ . Quando a radiação incide sobre um plano, num certo intervalo de tempo, podemos falar da incidência de uma certa quantidade de energia e designamos por insolação ( $I$ ) a quantidade de energia por unidade de área num dado intervalo de tempo.

A relação entre a irradiância e a insolação é dada pela expressão

$$I = \int_{t_1}^{t_2} G(t)dt \quad (\text{equação 2.1})$$

para um intervalo de tempo  $[t_1, t_2]$ .

A insolação solar pode medir-se em  $\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$  ou de uma forma mais prática, através das horas de sol de pico (HSP), que corresponde ao número de horas de sol necessárias para receber a mesma insolação, se a irradiância fosse constante e igual a  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ . Estas unidades tornam-se cómodas no contexto da energia solar fotovoltaica, uma vez que a potência nominal de um módulo fotovoltaico, fornecida pelo fabricante, pressupõe uma irradiância de  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ .

A irradiância varia de acordo com as condições atmosféricas e com a posição do Sol. O gráfico da figura 2.16 mostra a curva típica da variação da irradiância ao longo de um dia. A insolação é representada pela área compreendida sob a curva relativa à variação da irradiância (o que resulta da equação 2.1).

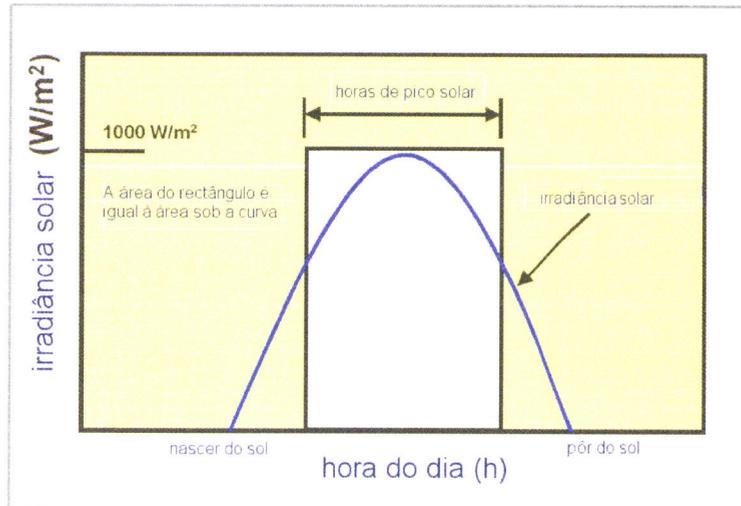


Figura 2.16 - Variação da irradiação solar ao longo de um dia e respectiva insolação, adaptado de (William, Young, 2000)

#### 2.4.1.2 Constante Solar

O fluxo de energia que incide sobre a superfície da Terra depende da distância Terra-Sol e da energia emitida pelo Sol. Esta não é constante, sendo a sua variação máxima estimada em cerca de 1% ao longo de um ciclo solar, contudo, na perspectiva da utilização da energia solar, poder-se-á considerar que se trata de uma constante. O fluxo de energia irradiado é de aproximadamente  $3,8 \times 10^{23}$  kW, da qual a Terra recebe apenas uma pequeníssima parte.

Define-se assim, uma grandeza designada por constante solar ( $G_{sc}$ ), que indica a energia recebida por unidade de tempo e por unidade de superfície, exposta à radiação solar sob incidência normal (admitindo a ausência de atmosfera terrestre), quando a Terra se encontra à sua distância média do Sol e tem o valor de  $1,360 \times 10^3 W.m^{-2}$ . (Almeida, 2002) Se se considerar a absorção e a reflexão que a radiação solar sofre quando atravessa a atmosfera terrestre, então o fluxo de energia que incide na superfície terrestre é cerca de  $1 kW.m^{-2}$ . Ainda assim, este depende da localização geográfica, condições atmosféricas, horas de Sol por dia, etc.

### 2.4.1.3 Radiação directa, difusa e reflectida

Parte da radiação solar que atinge a atmosfera terrestre é desviada pelas nuvens, poeiras e outros componentes da atmosfera, sendo designada por radiação difusa celeste. A radiação que atinge directamente a superfície da Terra é denominada de radiação directa. Designa-se ainda por radiação difusa reflectida, a radiação proveniente do solo e objectos circundantes. A restante radiação solar é absorvida, ou reflectida para fora da atmosfera, pelos diferentes componentes atmosféricos (figura 2.17).

Os módulos fotovoltaicos utilizam quer a radiação directa quer a difusa para produzir energia eléctrica, funcionando mesmo quando o céu esta nublado. Existe a concepção errada de que os sistemas só operam quando o céu está descoberto.

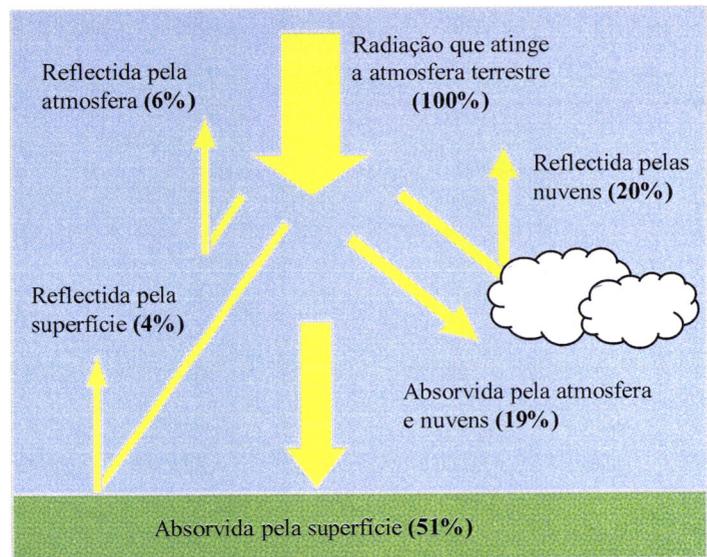


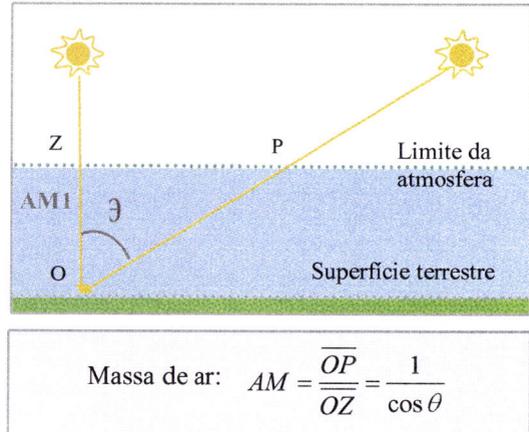
Figura 2.17 – Efeitos atmosféricos sobre a radiação que atinge a atmosfera terrestre, extraída e adaptado de [5]

### 2.4.1.4 Massa de ar

A quantidade da radiação que chega à superfície da Terra depende muito da distância que percorre na atmosfera. Quanto maior a distância, maiores os efeitos de atenuação da radiação.

A grandeza massa de ar (*air mass*) indica a distância relativa que um raio solar tem que atravessar na atmosfera terrestre até atingir a superfície terrestre, num dado local.

Quando o Sol está no Zénite (sobre a vertical do lugar) considera-se que atravessa uma massa de ar de valor unitário (massa de ar 1 ou AM1), referindo-se a um local ao nível do mar e num dia de céu limpo, como se ilustra na figura 2.18. Se a distância percorrida for o dobro, o que acontece quando a radiação incidente faz 60° com a vertical do lugar, diz-se que a massa de ar atravessada é 2 (AM2). Esta medida da massa de ar indica as perdas de energia sofridas quando a radiação percorre a atmosfera até incidir sobre a superfície terrestre.



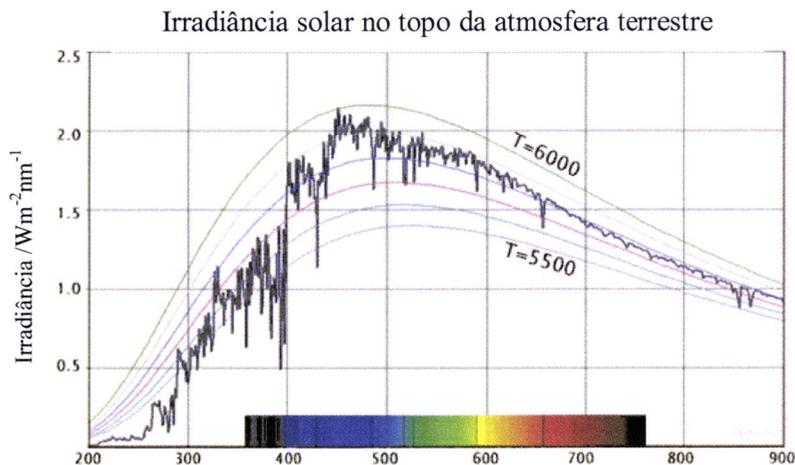
**Figura 2.18 - Representação das distâncias percorridas pela luz solar na atmosfera terrestre, em duas posições relativas do Sol; relação da massa de ar com o ângulo da radiação solar incidente com a vertical do lugar**

A massa de ar 1 corresponde a uma irradiância de cerca de 1000 W/m<sup>2</sup>. Para as condições de AM2, é de aproximadamente 800W/m<sup>2</sup> e no topo da atmosfera terrestre convencionou-se que a massa de ar é nula (AM0) e a irradiância é cerca de 1,367x10<sup>3</sup> W/cm<sup>2</sup> (valor da constante solar).

A massa de ar 1,5 é considerada aquela que melhor traduz as condições médias existentes à superfície da Terra e a utilizada como condição normal (*standard*) nas especificações dos dispositivos fotovoltaicos. A massa de ar é um dos factores responsáveis pela variação da irradiância ao longo de um dado dia e ao longo do ano.

### 2.4.1.5 Espectro solar

O Sol emite em toda a gama do espectro electromagnético, sendo cerca de metade desta radiação pertencente à zona do visível (47%) e maioria da restante à zona do infravermelho (46%). O espectro da radiação electromagnética emitida pelo Sol segue a distribuição do espectro de um corpo negro a cerca 5800 K, como mostra a figura 2.19.



**Figura 2.19 - Representação da distribuição espectral do sol e espectros de emissão de um corpo negro a diferentes temperaturas, extraído e adaptado de [6]**

A sua emissão é máxima para o comprimento de onda correspondente ao verde ( $0,5 \mu\text{m}$ ), resultando a sua cor amarela da combinação desta com os outros c.d.o. da zona do visível, que são irradiados com intensidades semelhantes entre si.

Se fora da atmosfera (AM0) o espectro solar é semelhante ao de um corpo negro, ao chegar à superfície terrestre, a sua distribuição espectral altera-se devido aos vários efeitos de atenuação que sofre ao atravessar a atmosfera. Certos c.d.o. são mais absorvidos que outros como a figura 2.20 evidencia.

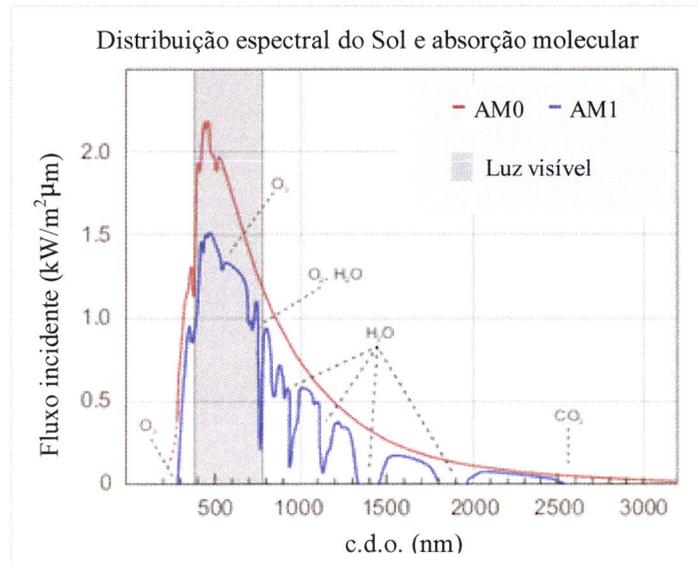


Figura 2.20 - Distribuição espectral do Sol e absorção molecular para AM0 e AM1, extraída e adaptado de [7]

É importante conhecer a distribuição do espectro característico da fonte luminosa, uma vez que, como veremos, as células fotovoltaicas apresentam diferentes sensibilidades para diferentes regiões do espectro consoante o material que as constitui.

#### 2.4.2 Factores de que depende a irradiância

Introduzidas estas noções, iremos analisar os factores que afectam a quantidade de energia solar que chega à superfície da Terra, de forma a que se possamos, dentro do possível, maximizar a quantidade de radiação que incide num dado dispositivo fotovoltaico.

Estes factores podem ser divididos em dois tipos: os *atmosféricos* e os *geométricos*.

##### 2.4.2.1 Efeitos atmosféricos

Como vimos, a distância percorrida pela luz na atmosfera e a constituição da atmosfera determinam as características do espectro da radiação solar sobre a superfície, em resultado de diferentes níveis de reflexão, absorção, refração e dispersão sofridos. Desta forma, a

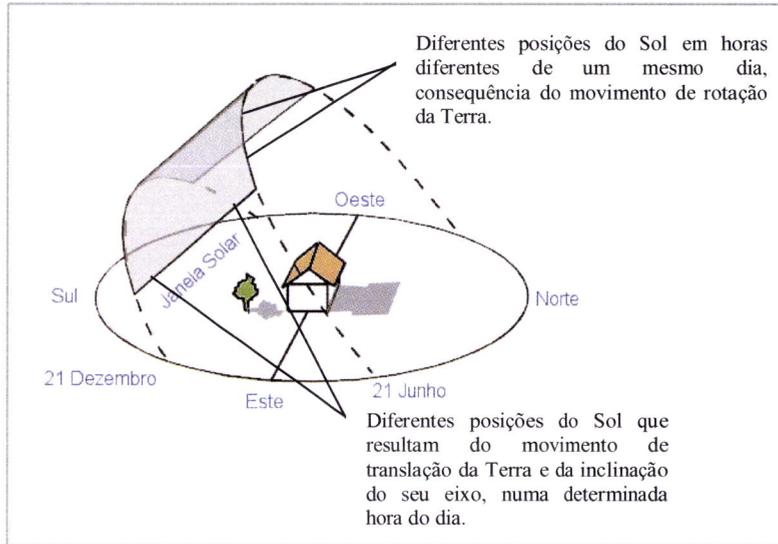
existência de atmosfera, associada às condições atmosféricas (nebulosidade, humidade relativa, etc.) condicionam a energia total que incide sobre a superfície da Terra. Estas condições introduzem alguma imprevisibilidade na energia que o dispositivo fotovoltaico recebe e conseqüentemente fornece.

#### 2.4.2.2 Efeitos geométricos

Os efeitos que estão associados à posição do Sol em relação à Terra são designados por geométricos e determinam a quantidade de energia que incide na superfície terrestre. Esta depende assim, da latitude local, da hora e do dia do ano.

A irradiância varia com o ângulo de incidência da radiação sobre a superfície terrestre, pelo que toma diferentes valores ao longo do ano e ao longo de um dia, conseqüência dos dois tipos de movimentos, rotação e translação, que a Terra efectua. Do movimento de rotação resulta uma variação do ângulo de incidência da radiação solar ao longo do dia e conseqüentemente da potência solar. Da translação da Terra associada à inclinação do seu eixo de rotação de cerca de  $23,45^\circ$ , resulta uma potência solar não uniforme, nas várias regiões do planeta, em cada instante. Um observador na Terra, num dado local, verá o Sol a atingir diferentes alturas máximas ao longo do ano, bem como, a duração do dia solar, isto é, o tempo que o Sol está acima do horizonte. Desta forma, a potência solar que chega à Terra numa dada hora do dia varia ao longo do ano, bem como a insolação.

A figura 2.21 mostra a janela (zona a cinzento) que contém as posições do Sol para um observador no hemisfério norte e numa latitude semelhante à do nosso país, ao longo do dia e ao longo do ano, onde se registam maiores valores de irradiância. Desta janela dependerá o melhor posicionamento de painéis solares.



**Figura 2.21 - Janela solar para um local do Hemisfério Norte, adaptado de INETI (2006)**

A energia fornecida por um módulo fotovoltaico irá depender de considerações, como a sua *localização, posicionamento e dimensionamento*, como veremos.

Para sabermos qual a melhor forma de instalar um dispositivo fotovoltaico de modo a obter o máximo de energia gerada, iremos estudar a física inerente ao seu funcionamento, de forma a conhecermos a sua resposta face às condições exteriores.

## 2.5 A Física da célula fotovoltaica

### 2.5.1 A célula fotovoltaica: visão microscópica

O modo de fabrico e os materiais utilizados na construção das células fotovoltaicas são diversos, existindo grandes variações na eficiência e custos finais. Actualmente, o material mais utilizado é o silício, o que se deve às suas propriedades físicas e químicas e à sua abundância (é o segundo elemento mais abundante no nosso planeta). O silício é um semicondutor que tem 4 electrões de valência e se liga covalentemente a 4 átomos de silício vizinhos formando um tetraedro com um átomo em cada vértice. A estrutura

crystalina regular que consiste na repetição da célula unitária está representada na figura 2.22.

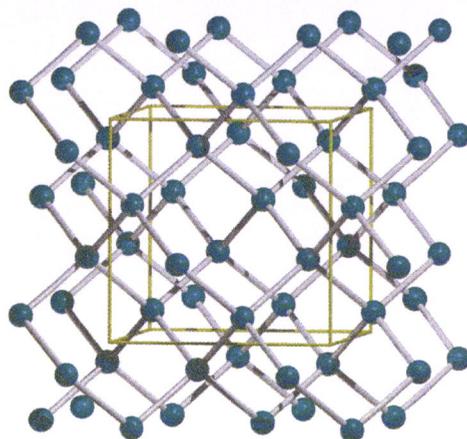


Figura 2.22 – Cristal de silício e respectiva célula unitária, extraído de [8].

O silício constitui cerca de um terço da crosta terrestre e surge, normalmente, na forma de dióxido de silício (igualmente conhecido por sílica) e em silicatos. Em 1997, 98% dos módulos fotovoltaicos eram feitos de silício e, embora mais recentemente tenham sido desenvolvidas células à base de outros materiais, o silício continua a dominar o mercado.

Iremos descrever a física associada às células de silício cristalino, igualmente designadas por células de primeira geração. São as mais abundantes no mercado e as que apresentam uma tecnologia já com alguma maturidade.

O silício, como qualquer outro material semiconductor, quando absorve radiação electromagnética gera no seu interior pares de cargas positivas (lacunas) e negativas (electrões), que uma vez produzidos, se movem aleatoriamente no seu interior. Se não existir nenhuma condicionante interna ou externa, estes portadores de carga acabarão por se recombinar, neutralizando-se. Se se criar de alguma forma, um campo eléctrico permanente, parte das cargas eléctricas que surgem, são separadas e não se recombinarão, estabelecendo-se uma diferença de potencial entre as duas zonas separadas pelo campo. Ao ligar-se este dispositivo, o qual se designa por célula fotovoltaica a uma resistência exterior,

fluirá corrente, enquanto sobre esta incidir radiação que promova a criação de electrões e lacunas. Este fenómeno é designado por efeito fotovoltaico.

### 2.5.1.1 Dopagem do semiconductor

Para que haja criação do referido campo eléctrico interno põe-se em contacto um *semiconductor tipo-p* e um *semiconductor tipo-n*. Os materiais tipo-p e tipo-n resultam de um processo de dopagem que consiste em adicionar pequenas quantidades (partes por milhão) de outros átomos ao semiconductor puro ou intrínseco.

Para melhor se entender as diferentes propriedades de um semiconductor puro e dopado, podemos comparar as suas estruturas de banda. A figura 2.23 mostra o esquema para os estados de energia em semicondutores puros. Uma banda de valência está separada da banda de condução por meio de uma banda de energia proibida de largura  $W_0$ . Isto determina as propriedades ópticas e eléctricas do material. Enquanto um metal tem uma banda de valência parcialmente preenchida que permite a mobilidade de electrões, um isolador tem uma largura de banda muito grande, sendo difícil promover electrões para a banda de condução. A capacidade de condução do semiconductor situa-se entre a do condutor e do isolante, dado que a banda proibida tem uma largura intermédia. A excitação dos electrões para a banda de condução pode fazer-se por via térmica ou óptica (por choque fóton-electrão).

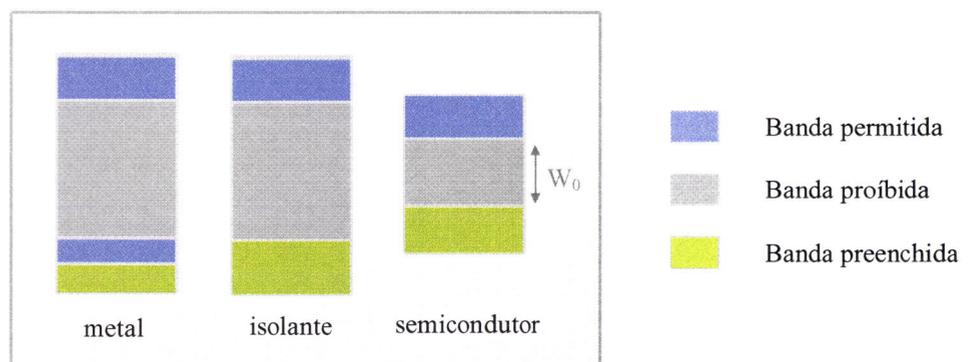
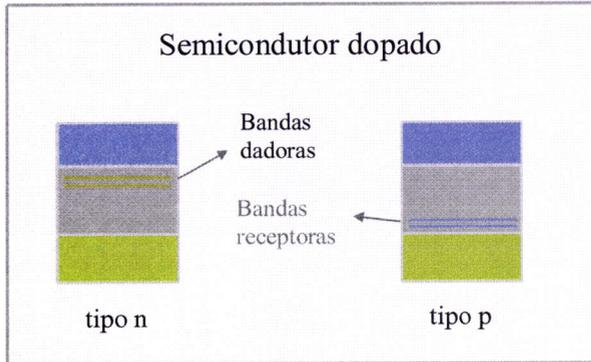


Figura 2.23 – Representação das estruturas de banda de um metal, um isolante e um semiconductor puro

A introdução de impurezas na rede tem como objectivo produzir estados adicionais de energia no semiconductor, que se situam na zona proibida (figura 2.24) e consequentemente aumentar a condutividade do semiconductor.



**Figura 2.24 – Diagrama de bandas para o silício dopado originando um material tipo-p e um tipo-n**

A dopagem de um sólido (a proporções molares de  $1:10^6$ ) corresponde à incorporação de substâncias com bandas cheias (bandas dadoras) ou vazias (bandas receptoras) de energia permitindo a transposição dos electrões entre as bandas.

No processo de dopagem do silício adicionam-se elementos (impurezas) como o fósforo, ou outro elemento do mesmo grupo. Os átomos de fósforo têm 5 electrões de valência, em vez de 4, como no caso do silício. Apenas 4 serão utilizados nas ligações com os átomos de silício vizinhos, sobrando 1 que ao não estabelecer nenhuma ligação ficará mais livre para se deslocar ao longo do cristal. O fósforo acrescenta electrões móveis, tratando-se assim de uma impureza maioritariamente dadora e o semiconductor extrínseco que se obtém é designado por material *tipo-n*.

Outra forma de promover portadores de carga é dopar o silício com uma impureza aceitadora, isto é, com átomos com 3 electrões de valência, como o Boro. Neste caso resultam lacunas ou buracos que se podem mover. Na realidade são os electrões que ao se deslocarem para o buraco mais próximo criam um novo buraco, o que equivale a dizer que este portador de carga positiva, o buraco ou lacuna, se desloca. Este semiconductor designa-se *tipo-p* e conduz igualmente a corrente eléctrica, na medida em que permite o deslocamento dos electrões.

Diz-se que o silício dopado é do tipo-n, quando tem impurezas predominantemente dadoras, sendo a maioria dos portadores de carga negativos (electrões) e, do tipo-p, quando

possui impurezas maioritariamente aceitadoras, sendo a maioria dos portadores de carga positivos (lacunas).

Representa-se na figura 2.25 os materiais tipo-p e tipo-n que resultam da dopagem do silício com boro e fósforo, respectivamente.

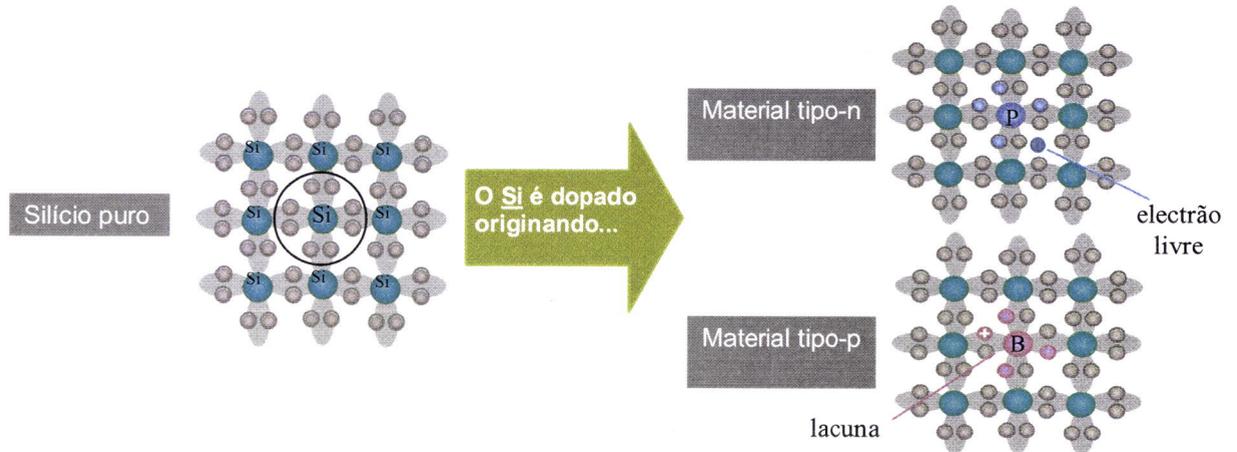


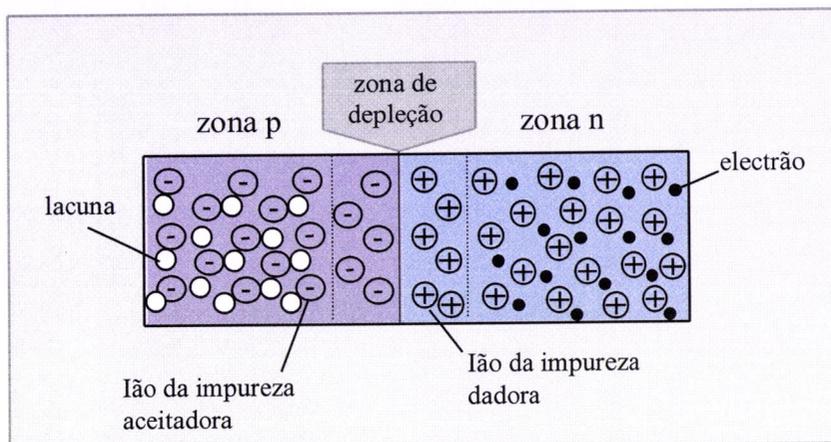
Figura 2.25 – Representação dos cristais de silício puro e dopado

### 2.5.1.2 Formação da junção pn

Uma junção pn é constituída pela união de dois blocos de materiais semicondutores, um tipo-p e o outro tipo-n. Quando se juntam os dois blocos, há difusão dos electrões da zona n, onde existem em excesso, para a zona p. As lacunas, por sua vez, em excesso no tipo-p, deslocam-se para o tipo-n. Neste processo de difusão, os portadores de carga deixam os átomos das impurezas (dopantes) deixando-os ionizados. Isto é, os electrões ao difundirem-se do lado n para o lado p, deixam no n, os iões das impurezas dadoras ionizados positivamente e as lacunas que se difundem para o lado n, deixam no p, os iões das impurezas receptoras negativamente ionizados (figura 2.26).

Na zona de contacto, há o encontro de electrões e lacunas, que se vão recombinando, desaparecendo, ficando essencialmente os iões positivos e negativos, fixos, constituindo

assim uma zona neutra e estável, onde o número de portadores de carga é reduzido comparativamente com as zonas afastadas da junção, que se designa zona de depleção.



**Figura 2.26 - Representação dos dois blocos semicondutores do tipo p e do tipo n e a localização das cargas após a difusão dos electrões e lacunas**

A carga existente em ambos os lados da região de depleção origina uma diferença de potencial, com o lado n, positivo em relação ao lado p, e estabelece-se um campo eléctrico interno que tem o sentido do material tipo-n para o tipo-p que servirá de moderador do fluxo de cargas.

Tem-se, deste modo, uma diferença de potencial entre as zonas p e n, separadas por uma zona de união que é neutra, a zona de depleção. A queda de tensão na região de depleção actua como uma barreira de potencial que se opõe ao processo de difusão dos electrões e lacunas, uma vez que o potencial positivo que se vai criando na zona n repele os electrões e o potencial negativo que se estabelece na zona p repele as lacunas. Isto significa que, a barreira de potencial que se cria impede que se igualem as concentrações dos portadores de carga maioritários, ou seja, as lacunas e os electrões para se difundirem têm que vencer a barreira de potencial. Está criada a zona que se designa por junção p-n e que permite à célula funcionar como um gerador de energia. A barreira de potencial é cerca de 0,6 V quando o semicondutor é de silício.

Na célula a carga é nula, excepto na zona de depleção, como mostra o gráfico a verde na figura 2.27. Fora dela, na zona p, a carga das lacunas é neutralizada por uma quantidade igual de iões negativos correspondentes aos átomos aceitadores dos iões das impurezas. O mesmo sucede na zona n, em que a carga dos electrões é neutralizada pelos iões positivos correspondentes aos átomos aceitadores das impurezas.

O potencial é positivo na zona-n e negativo na zona-p e o campo existe apenas onde há um gradiente de potencial, ou seja, na zona de depleção.

A figura 2.27 mostra como variam as grandezas referidas, carga, potencial e campo eléctrico, ao longo da célula.

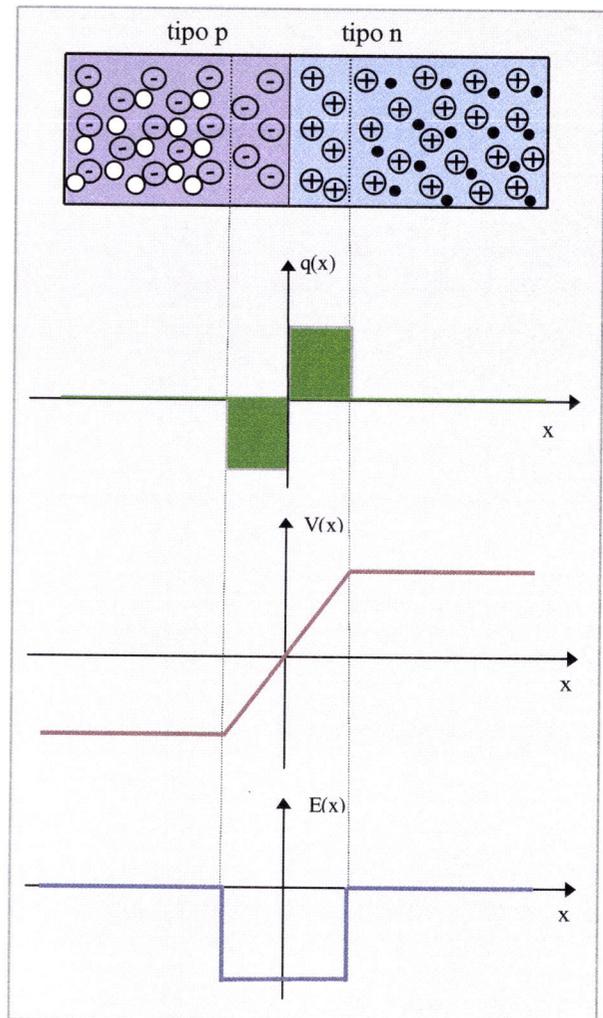
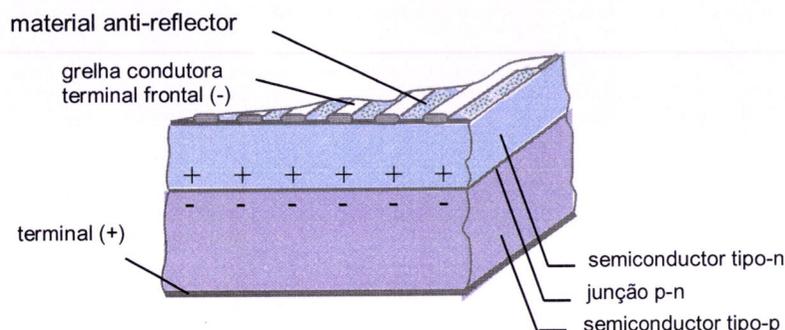


Figura 2.27 – A figura mostra a carga, o potencial e o campo eléctrico existentes ao longo do semiconductor

### 2.5.2 Estrutura macroscópica de uma célula fotovoltaica

Uma célula convencional de silício cristalino é constituída por dois blocos de diferentes características de condução: um semiconductor tipo-p e um tipo-n. A camada tipo-n tem uma espessura de cerca de 300 nm e a camada tipo-p de cerca de 250.000 nm (Castro, 2004).

Na fronteira destes dois materiais encontra-se a junção p-n, uma estreita zona com cerca de 0,2 a 0,5  $\mu\text{m}$  onde se estabelece um campo eléctrico permanente com o sentido de n para p (figura 2.28).



**Figura 2.28 - Ilustração de uma célula fotovoltaica e os seus principais constituintes**

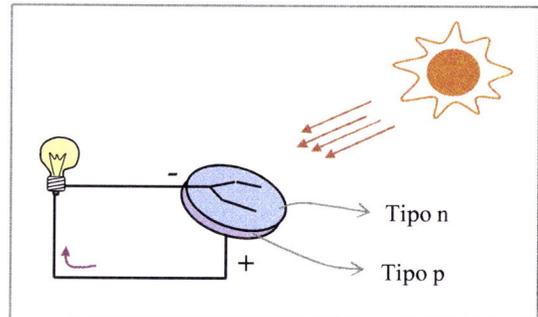
A zona tipo-n é a zona iluminada e onde se dá a difusão dos electrões, por isso, é necessário que nela se estenda uma grelha condutora ao longo de toda a superfície, de forma a estabelecer contacto eléctrico. Esta grelha provoca inevitavelmente algum sombreamento, ao atravessar a zona activa da célula, mas a possível existência de contactos apenas nas suas extremidades seria insuficiente para captar todos os electrões, comprometendo a eficiência da célula. Assim, há que se estabelecer um compromisso entre este efeito de sombreamento e as dimensões da grelha de forma a que a resistência ao fluxo de corrente seja mínima e a captação de cargas máxima.

Estes contactos na zona frontal constituem os terminais negativos. Esta zona está coberta por uma película anti-reflexo, que tem como objectivo reduzir a reflexão. São ainda usadas para este efeito texturas especiais nas células monocristalinas, por exemplo em forma de pirâmide invertida, na superfície da célula, permitindo que parte da radiação reflectida possa ainda ser absorvida numa segunda superfície, antes de escapar, aumentando a probabilidade de absorção.

O contacto da parte de trás da célula (zona escura) constitui o terminal positivo e consiste numa capa de alumínio ou de molibidénio.

### 2.5.3 O efeito fotovoltaico

Uma célula é basicamente uma junção pn, em que a parte iluminada é a zona n e não iluminada a zona p, como mostra a figura 2.29. Quando há incidência de radiação, alguns fótons são absorvidos e há criação de electrões e lacunas que se pretende que sejam separados pelo campo eléctrico existente na junção pn. A zona n, iluminada, tem assim uma espessura mínima para que a radiação incidente promova a criação de pares electrão lacuna nas proximidades da junção p-n.



**Figura 2.29 - Célula fotovoltaica: gera corrente contínua a partir da radiação solar**

Quando os electrões e lacunas são gerados na zona p, parte dos electrões recombinam-se com as lacunas que aí existem em grande número e, outra parte, atravessa o campo para a zona n, onde irão contribuir para o aumento de cargas negativas nesta região da célula. Os electrões móveis que chegam ao material tipo-n flúem para o tipo-p através do circuito exterior e devido à diferença de potencial entre as duas zonas. Quando chegam ao material tipo-p recombinam-se com as lacunas aqui maioritárias (ver esquema da figura 2.30).

Quando a separação ocorre na zona n, as lacunas passam para a região p por acção do campo eléctrico e os electrões são injectados no circuito exterior.

Alguns pares electrão-lacuna criados poderão recombinar-se sem contribuir para o estabelecimento de corrente no circuito.

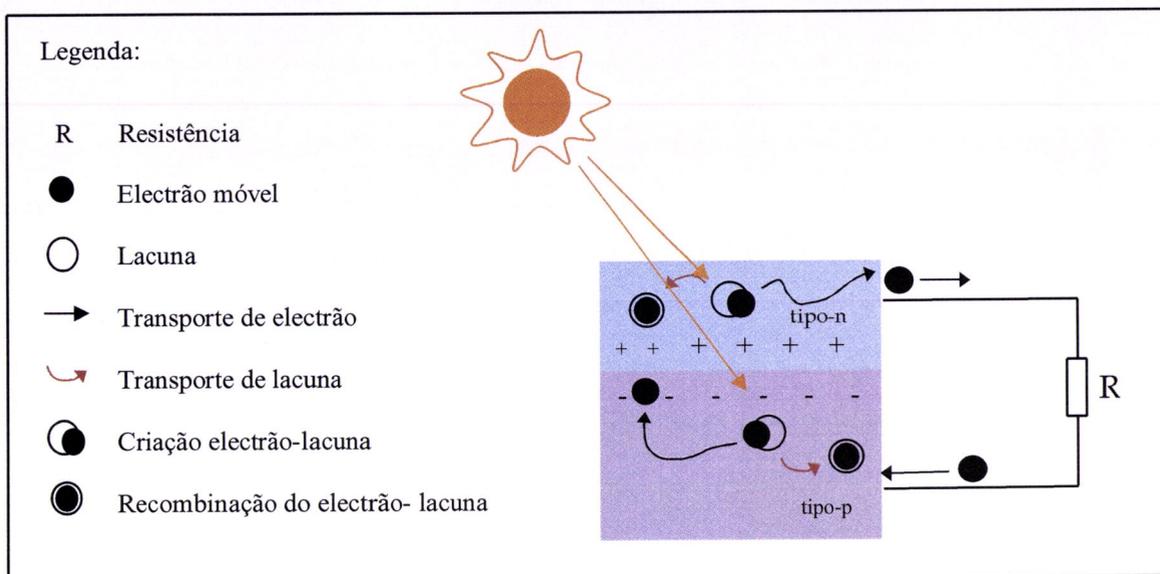


Figura 2.30 - Representação do efeito fotovoltaico numa célula

Enquanto houver radiação incidente e absorção de fótons, este processo repetir-se-á e haverá corrente a fluir no circuito externo, que flui do terminal negativo (zona tipo-n) para o positivo (zona tipo-p). A intensidade da corrente irá depender do número de pares elétron-lacuna criados e, portanto, da irradiância.

A figura 2.31 mostra a criação de elétrons e lacunas nos materiais tipo-n e tipo-p e a recombinação em cada um dos materiais.

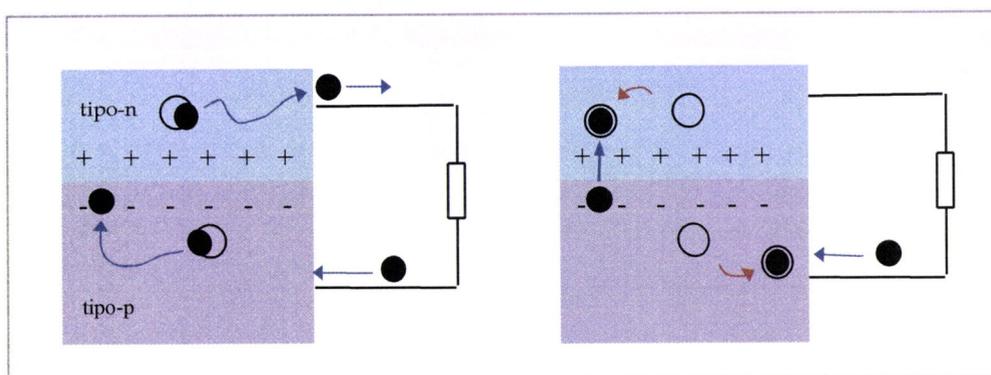


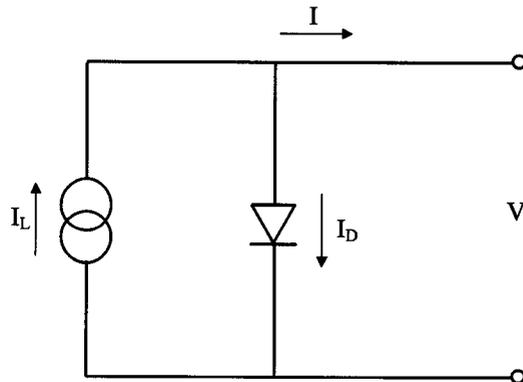
Figura 2.31 - Criação de elétrons e lacunas nos materiais tipo-n e tipo-p e a recombinação em cada um dos materiais. Nota: a legenda é a mesma da figura 2.30. Na presente figura, o transporte de elétron está representado pelas setas a azul

### 2.5.4 Circuito equivalente a uma célula fotovoltaica

Na prática, é conveniente conseguir descrever o comportamento de uma célula fotovoltaica utilizando elementos de um circuito. Esta opção é particularmente útil quando se pretende considerar varias células conectadas em série ou paralelo, como ocorre num módulo fotovoltaico. O circuito electrónico equivalente a uma célula fotovoltaica, segundo o modelo simplificado, é constituído por uma fonte de corrente dependente em paralelo com um díodo polarizado positivamente. Para melhor caracterizar o funcionamento de uma célula fotovoltaica, iremos descrever um modelo matemático que nos permite relacionar a tensão e a corrente fornecida pela célula, tendo por base o circuito equivalente.

Neste modelo simplificado, cujo esquema constitui a figura 2.32, há uma fonte de corrente fornece a corrente  $I_L$  e o díodo que é atravessado por uma corrente  $I_D$ .

Vejamos a relação com o funcionamento da célula fotovoltaica e designemos por  $I$  a corrente que circula numa carga exterior quando conectada à célula fotovoltaica iluminada.



Esta corrente é o resultado de duas componentes da corrente interna da célula e com sentidos opostos: a corrente que resulta da produção de portadores de carga, electrões e lacunas, por efeito da incidência da radiação sobre a superfície activa da célula ( $I_L$ ), e a corrente que resulta da recombinação dos portadores de carga, a corrente de difusão ( $I_D$ ), devido à tensão exterior.

Uma vez que a concentração de lacunas é elevada na região p e baixa na região n, há lacunas que se difundem através da junção do lado p para o lado n; por outro lado, os electrões difundem-se do lado n para o lado p. Estas duas componentes de corrente somam-se constituindo a corrente de difusão  $I_D$ , cujo sentido é do lado p para o lado n, como se indica na figura 2.33.

Para tal a barreira de potencial tem de ser superada. Quanto maior for a barreira de potencial, menor será o número de portadores que a conseguem vencer e menor será a intensidade da corrente de difusão. Deste modo, a corrente de difusão  $I_D$  depende da queda de tensão através da região de depleção.

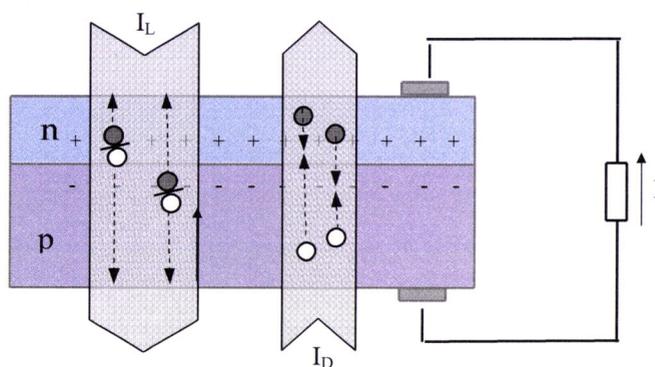


Figura 2.33 - Representação das correntes internas numa célula fotovoltaica. Os círculos cinzentos representam electrões e os brancos, lacunas

A corrente no circuito externo é então obtida pela diferença das duas componentes da corrente:

$$I = I_L - I_D(V) \quad (\text{equação 2.2})$$

A equação 2.2 poderia ser obtida através do circuito equivalente. Sendo que a junção p-n funciona como um díodo que é atravessado por uma corrente interna  $I_D$ , que depende da tensão  $V$  aos terminais da célula, tem-se que:

$$I_D(V) = I_0 \left[ \exp \frac{eV}{mkT} - 1 \right] \quad (\text{equação 2.3})$$

sendo

$I_0$  – corrente inversa máxima de saturação do díodo;

$e$  - carga eléctrica do electrão ( $1,6022 \times 10^{-19}$  C);

$V$  – tensão aos terminais da célula;

$k$  - constante de Boltzmann ( $1,3806 \times 10^{-23}$  J/K);

$T$  - temperatura absoluta da célula, em K;

m - factor de idealidade do díodo (díodo ideal:  $m = 1$ ; díodo real:  $1 < m < 2$ ).

O factor de idealidade (m) contabiliza fenómenos físicos como a recombinação e difusão através da barreira, sendo dependente da temperatura. Para valores elevados da tensão externa aplicada,  $m \sim 1$ , quando a difusão domina e, para valores baixos da tensão externa aplicada,  $m \sim 2$ .

Das equações 2.2 e 2.3, obtemos que a corrente no circuito exterior é:

$$I = I_L - I_D = I_L - I_0 \left[ \exp \frac{eV}{mkT} - 1 \right] \quad (\text{equação 2.4})$$

Esta equação descreve analiticamente o comportamento da célula solar. Permite-nos relacionar a tensão e a corrente fornecidas pela célula, conhecendo os parâmetros  $I_0$ ,  $I_L$  e m, bem como obter em boa aproximação a sua curva característica.

O gráfico da tensão versus corrente que caracteriza uma célula fotovoltaica, adopta a corrente como positiva, ao contrário da convenção utilizada quando se utilizam diodos em circuito. Esta curva encontra-se no 4.º quadrante da curva tensão corrente de um fotodiodo (em que  $V > 0$  e  $I < 0$ ), quando polarizado directamente. Nesta zona, o fotodiodo funciona como um gerador de energia.

O valor máximo para a corrente, ocorre em condições de curto-circuito ( $V=0$ ) e pela equação 2.3, obtém-se que:

$$I = I_L \quad (\text{equação 2.5})$$

A tensão em circuito aberto, obtém-se da equação 2.3, com  $I=0$

$$V_{CA} = m \frac{kT}{e} \ln \left[ \frac{I_L}{I_0} + 1 \right] \quad (\text{equação 2.6})$$

O circuito equivalente anteriormente descrito não tem em conta alguns efeitos que se observam numa célula real e que afectam o seu comportamento exterior. O modelo que a seguir se apresenta e se encontra esquematizado na figura 2.34, inclui 5 parâmetros, considerando dois desses efeitos extrínsecos e que a seguir se indicam:

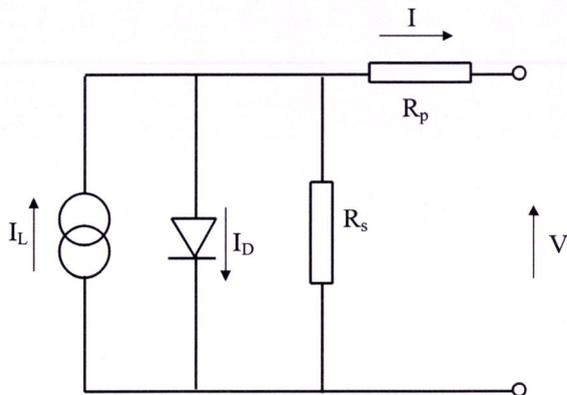


Figura 2.34 - Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica (modelo de 5 parâmetros)

- Nas células reais observa-se uma queda de tensão no circuito até aos contactos exteriores, a qual é representada por uma resistência série,  $R_s$ ;

- Existem ainda correntes de fuga, que podem ser descritas por uma resistência em paralelo,  $R_p$ .

Neste caso, a corrente entregue a uma resistência exterior será dada pela equação:

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp \frac{e(V + I \cdot R_s)}{mkT} - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (\text{equação 2.7})$$

### 2.5.5 Curva tensão-corrente

Visitámos, até agora, o interior de uma célula fotovoltaica e descrevemos o comportamento com base nos fenómenos físicos que aí ocorrem. Na prática, podemos utilizar a célula como se de uma “caixa preta” se tratasse, focando a nossa atenção apenas no sinal de saída, que se caracteriza pela tensão e intensidade de corrente. Para cada valor da tensão corresponde um determinado valor da corrente fornecida, nas condições consideradas (irradiância e temperatura). O conjunto dos valores tensão e corrente, que representam diferentes pontos de funcionamento da célula, constituem a curva que caracteriza o seu funcionamento e que se designa curva tensão corrente.

A curva tensão corrente que caracteriza o sinal de saída de uma célula está representada na figura 2.35 e está invertida relativamente à curva característica de um díodo de junção, como já foi referido.

A corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ) é corrente que o dispositivo pode entregar a tensão nula; a tensão de circuito aberto ( $V_{CA}$ ) é tensão que a célula fornece em circuito aberto.

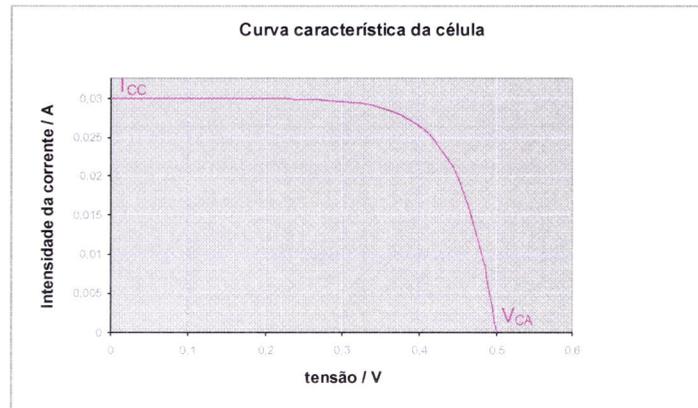


Figura 2.35 - Curva tensão corrente de uma célula fotovoltaica e os pontos  $I_{CC}$  e  $V_{CA}$

Quando a resistência externa é zero, ou seja, numa situação de curto-circuito, da equação 2.3 vimos que  $I=I_L$ , sendo esta corrente máxima designada por corrente de curto-circuito,  $I_{CC}$ . À medida que a resistência vai aumentando, a barreira de potencial na junção é reduzida e aumenta a corrente de difusão o que reduz a corrente no circuito externo (ver equação 2.4). Quando a resistência é infinita, em circuito aberto a tensão na célula é aproximadamente de 0,6 V, que é determinada pelo valor da barreira de potencial.

A corrente e a tensão em que a célula opera são determinadas pela irradiância, pela temperatura e pelas características da resistência exterior a que está ligada.

Através do gráfico da figura 2.35, podemos verificar que a corrente se mantém aproximadamente constante para valores mais baixos da tensão, pelo que se pode considerar o dispositivo uma boa fonte de corrente nesta zona de funcionamento.

Existem alguns pontos particularmente importantes na curva característica da célula:

- a corrente em curto-circuito ( $I_{CC}$ );
- a tensão em circuito aberto ( $V_{CA}$ );
- a potência de pico ( $P_P$ );
- a corrente de máxima potência ( $I_M$ );
- a tensão de máxima potência ( $V_M$ ).

A corrente em curto-circuito, a tensão em circuito aberto e a potência de pico são geralmente fornecidos pelos fabricantes para condições STC ou normais (*Standard Temperature Conditions*), por se tratarem de valores característicos das células. Essas condições são: uma irradiância de 1000 W/m<sup>2</sup>, a temperatura da célula de 25 °C e AM 1,5 e incidência normal (Bower, 2002).

Quando sobre a célula incide radiação, esta fornece um sinal elétrico contínuo caracterizado pela sua corrente  $I$  e pela tensão  $U$ , fornecendo uma potência  $P_{\text{fornecida}}=V \times I$ , cuja curva consta a azul no gráfico da figura 2.36.

Quando a célula está ligada a uma resistência, a potência fornecida pela célula varia com o valor desta, havendo um ponto de funcionamento ( $V_M$ ,  $I_M$ ) para o qual a potência fornecida é máxima. Este ponto designa-se por ponto de potência máxima ou, quando em condições STC, potência de pico.

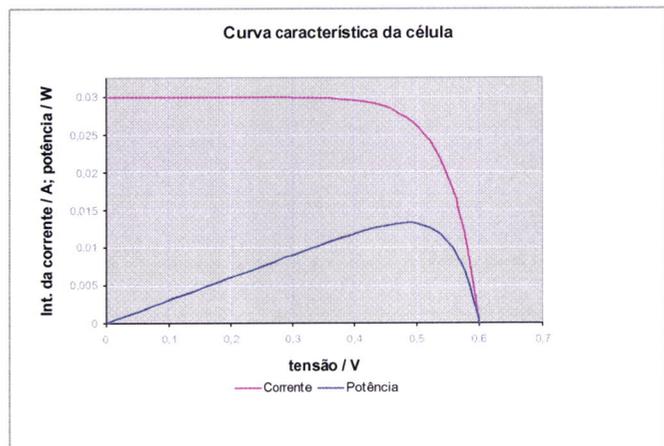
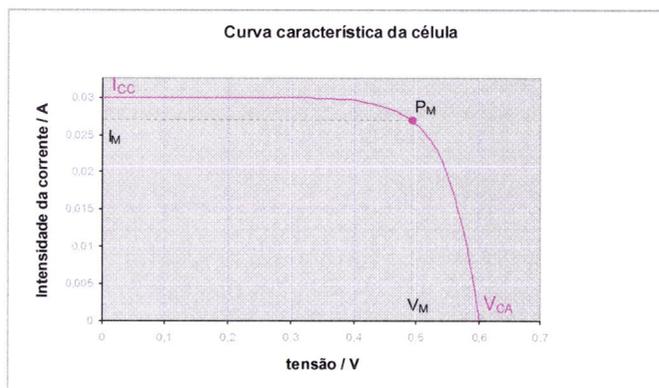


Figura 2.36 - Curva característica da célula e gráfico da potência fornecida versus tensão

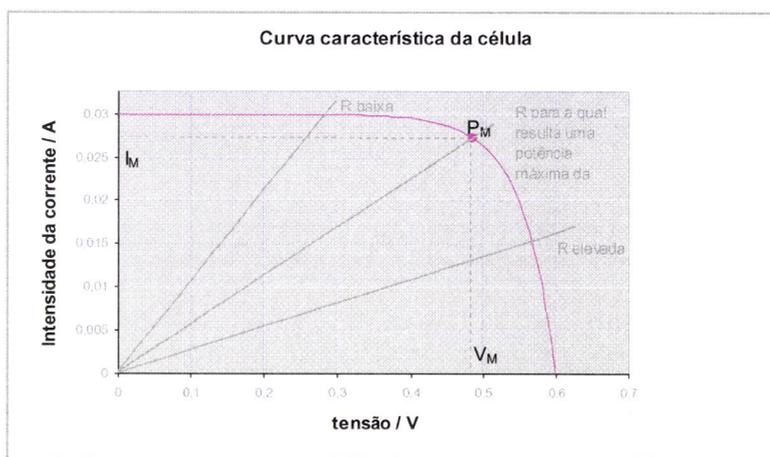
A potência elétrica é nula quando a resistência exterior é zero (curto-circuito) ou quando essa resistência é infinita (circuito aberto) e tem um valor máximo quando a tensão toma um valor de cerca de 80% do valor da tensão em circuito aberto ( $V_{CA}$ ), ou seja, cerca de 0,5 V para células de Silício.

Através da figura 2.37 podemos verificar que o valor máximo da potência corresponde, na curva característica, ao ponto em que a intensidade da corrente começa a diminuir mais rapidamente. O retângulo desenhado a partir desse ponto corresponde ao retângulo com área máxima que podemos ter sob a curva I-V e é numericamente igual à potência máxima fornecida pela célula.



**Figura 2.37 - Curva característica da célula e representação do ponto de máxima potência**

Quando se liga uma célula fotovoltaica a um receptor, o ponto de operação da célula será o da intersecção da sua curva característica com a curva característica da carga. No caso de se tratar de uma resistência de carga, o valor desta, para o qual a potência fornecida pela célula é máxima, é encontrado pela intersecção da curva I-V com a recta que traduz o valor dessa resistência (ver figura 2.38).



**Figura 2.38 - Interação de uma carga exterior (R) com o funcionamento do módulo fotovoltaico**

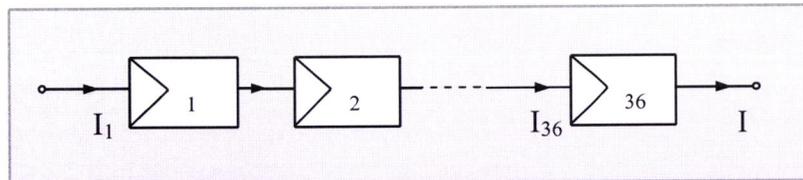
No caso de um motor, teríamos de conhecer a sua curva de funcionamento deste, para que seja possível determinar se existe a referida intersecção e onde se localiza. Caso não haja intersecção entre as referidas curvas características, da célula e do motor, então significa, que não existe compatibilidade entre a fonte e o receptor e este não funcionará.

### 2.5.5.1 Curva característica dos módulos fotovoltaicos

Uma célula comum de silício com  $100 \text{ cm}^2$  produz uma potência de pico de 1,0 a 1,7 W, consoante a sua eficiência, com uma tensão de saída de 0,5 V. Devido aos valores reduzidos da tensão e da corrente de saída de uma célula e havendo necessidade de alimentar receptores de maior potência, agrupam-se varias células, formando módulos. As células podem ser ligadas, em série ou em paralelo.

Quando as células são conectadas em paralelo, obtém-se um módulo com a mesma tensão das células e com uma corrente que é a soma as correntes. A tensão de saída continua a ser, deste modo, muito reduzida, pelo que este arranjo não é frequentemente utilizado.

É comum haver necessidade de carregar baterias de 12 V, pelo que são necessárias maiores tensões, que se podem obter associando em série várias células (geralmente 36 ou 72) formando um módulo fotovoltaico, com uma corrente igual à corrente das células e tensão do módulo será igual à soma das tensões das várias células. Este é o arranjo mais comum. Encontra-se esquematizado na figura 2.39 a ligação em série de 36 células.



**Figura 2.39 - Módulo constituído por 36 células ligadas em série**

Na situação da figura 2.39 temos que  $I_1 = I_2 = I_{36} = \dots = I$  e a tensão do módulo será igual à soma das tensões.

As curvas características dos outros dispositivos fotovoltaicos, módulos e painéis, são semelhantes à da célula, como é ilustrado pelo gráfico da figura 2.40, no qual se representa a curva característica de um módulo constituído por  $n$  células semelhantes conectadas em série. A eficiência do módulo é normalmente 1 a 3% inferior à eficiência das células que o compõem.

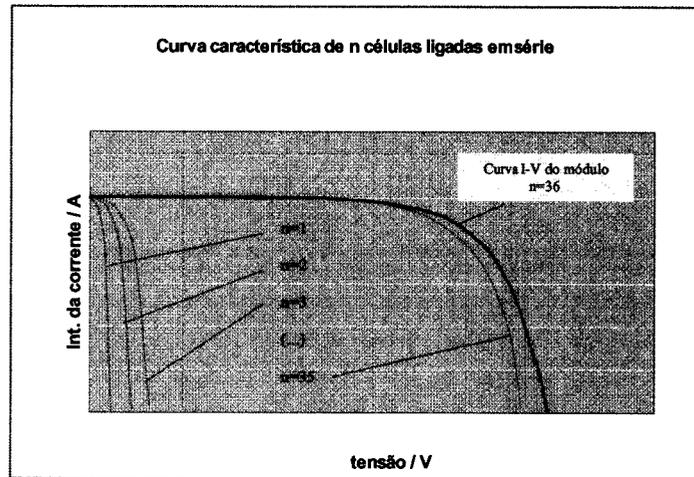


Figura 2.40 - Curvas característica correspondentes a n células conectadas em série

O comportamento de um módulo é idêntico ao de uma célula fotovoltaica, sendo a tensão de saída proporcional ao número de células associadas em série e a corrente ao número de ramos ligados em paralelo.

Se um módulo tiver  $N_S$  células em série, a tensão em circuito aberto pode ser calculada pela expressão:

$$V_{ca(módulo)} = N_S \times V_{ca(célula)} \quad (\text{equação 2.8})$$

No caso das células estarem ligadas em paralelo, determinar-se-á a corrente de curto-circuito da seguinte forma:

$$I_{cc(módulo)} = N_P \times I_{cc(célula)} \quad (\text{equação 2.9})$$

sendo  $N_P$  o número de células em paralelo.

A potência máxima será:

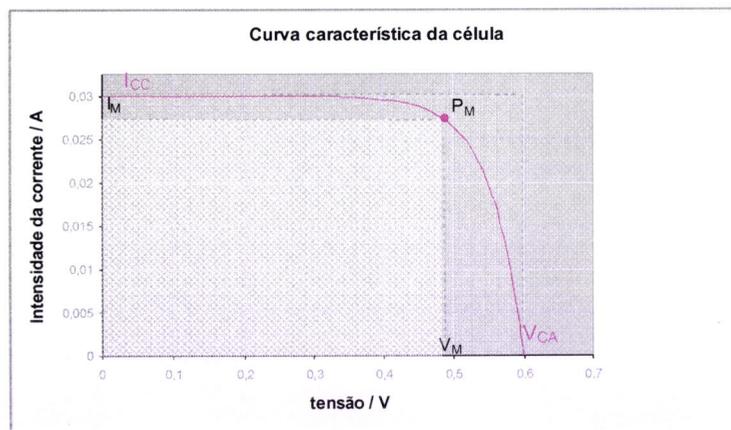
$$P_{M(módulo)} = N_S \times N_P \times P_{M(célula)} \quad (\text{equação 2.10})$$

O estudo que faremos em torno da curva característica de uma célula, nomeadamente, a influência de alguns factores como a temperatura ou a irradiância, é válido no caso de se tratar de um módulo ou painel.

Na escolha de um dispositivo fotovoltaico, é fundamental procurarmos saber qual a sua eficiência. Esta grandeza indica-nos a taxa de conversão da energia incidente em energia eléctrica e deve ser igualmente fornecida pelos fabricantes. No caso de não nos ser acessível este valor, existe uma grandeza que nos dá uma indicação acerca da forma da curva característica, que é designada por *factor de forma* e que está relacionada com a eficiência da célula, como veremos.

### 2.5.5.2 Factor de forma e eficiência de conversão

A área sombreada na figura 2.41 corresponde numericamente à potência máxima,  $P_M = V_M I_M$  e a área maior, ao produto  $I_{CC} V_{CA}$ .



**Figura 2.41 - Curva característica da célula e comparação das áreas correspondentes aos produtos  $V_M I_M$  e  $I_{CC} V_{CA}$**

O rectângulo correspondente à potência máxima é obviamente menor que a área correspondente ao produto  $I_{CC} V_{CA}$ . Quanto mais arredondada for a forma da curva característica, maior será a diferença entre as duas áreas. O cociente entre esses dois valores, dar-nos-á uma indicação sobre a forma da curva característica e designa-se por factor de forma, FF:

$$FF = \frac{I_M V_M}{I_{CC} V_{CA}} \quad (\text{equação 2.11})$$

O factor de forma é sempre inferior a 1, tendo valores típicos de 0,7-0,8 para células de cristais semicondutores.

Quanto menor o factor de forma, mais arredondada é a curva e menor o rendimento da célula. Na figura 2.42, a célula 1 tem um factor de forma superior, sendo a curva menos arredondada ou “mais quadrada”, uma vez que, a área do rectângulo sob a curva, que corresponde ao valor da potência máxima, é maior.

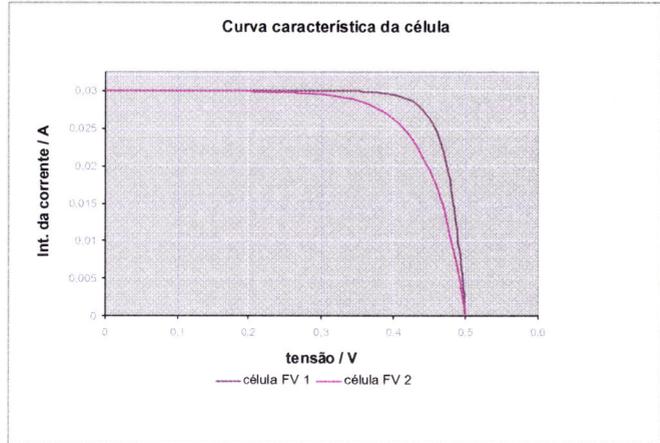


Figura 2.42 - Curvas características de duas células fotovoltaicas com diferentes factores de forma

A potência máxima pode ser calculada, conhecendo o factor de forma, através da relação:

$$P_M = FF \cdot I_{CC} \cdot V_{CA} \quad (\text{equação 2.12})$$

O rendimento ou eficiência de conversão de uma célula fotovoltaica é definida pelo cociente da potência máxima fornecida à resistência exterior e a potência da radiação que incide na superfície da célula,  $P_L$ :

$$\eta = \frac{P_{fornecida}}{P_{recebida}} = \frac{I_M V_M}{P_L} \quad (\text{equação 2.13})$$

utilizando a equação (2.12) obtém que:

$$\eta = \frac{FF \cdot I_{CC} \cdot V_{CA}}{P_L} \quad (\text{equação 2.14})$$

$$\text{ou } \eta = \frac{FF \cdot I_{CC} \cdot V_{CA}}{A \cdot G} \quad (\text{equação 2.15})$$

em que A é a área a célula ( $m^2$ ) e G a irradiância ( $W/m^2$ ).

Esta expressão permite-nos calcular o rendimento se nos forem fornecidos os valores da corrente de curto-circuito e a tensão de circuito aberto em condições STC e conhecermos a área.

### 2.5.5.3 Variações no comportamento da célula

As células são hoje utilizadas em diversas aplicações, sendo submetidas a condições de funcionamento muito variadas, quer em termos de irradiância quer de temperatura. A irradiância varia ao longo do dia e toma valores diferentes em regiões distintas do planeta e se pensarmos ainda no que sucede no espaço, encontramos situações muito distintas. Por exemplo, a distâncias do Sol correspondentes à órbita de Júpiter, a temperatura ambiente é de  $-120^{\circ}\text{C}$  e a irradiância de apenas  $50 \text{ W/m}^2$ , enquanto, a distâncias correspondentes à órbita de Vénus, a temperatura ambiente sobe para os  $140^{\circ}\text{C}$  e a irradiância é próxima de  $2500 \text{ W/m}^2$ . A compreensão de como estes factores influenciam o comportamento de uma célula é fundamental, quer na sua concepção quer para uma boa utilização destes dispositivos.

Seguidamente, analisaremos de que forma a irradiância e a temperatura influenciam o funcionamento de uma célula e as alterações na sua curva característica.

#### Influência da irradiância

Com o aumento da irradiância, verifica-se um aumento da corrente de curto-circuito, enquanto a tensão de circuito aberto varia pouco, como se pode ver no gráfico da figura 2.43.

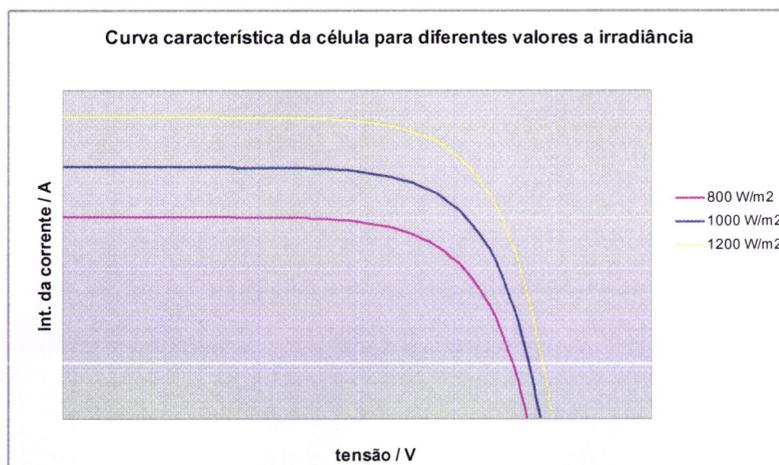


Figura 2.43 – Curva característica tensão-corrente de um dispositivo fotovoltaico para diferentes condições de irradiância

A corrente de curto-circuito varia, num intervalo considerável de condições de funcionamento, proporcionalmente à irradiância.

Se considerarmos uma fotocorrente  $I_{L1}$  para as condições STC, então para uma irradiância  $X$  vezes maior a fotocorrente será:

$$I_L = X \cdot I_{L1} \quad (\text{equação 2.16})$$

Quando a irradiância é muito elevada, a eficiência da célula degrada-se.

Como se pode ver no gráfico da figura 2.44, para valores mais elevados da concentração de luz, a eficiência da célula vai diminuindo.

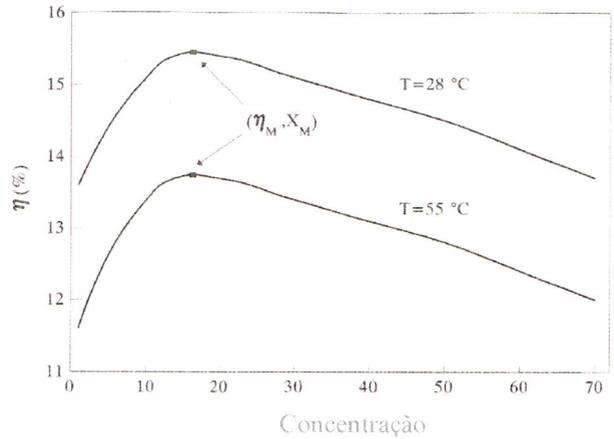


Figura 2.44 - Variação da eficiência de conversão com a concentração de luz (Lorenzo, 2004)

### Influência da temperatura

A eficiência diminui à medida que a temperatura aumenta. O decréscimo é cerca de 0,04-0,06 pontos percentuais/°C para células de silício, quando operam perto da temperatura ambiente (Lorenzo, 2004).

A tensão em circuito aberto diminui assim como o factor de forma e a corrente de curto-circuito aumenta muito ligeiramente com a temperatura, como nos mostra o gráfico da figura 2.45.

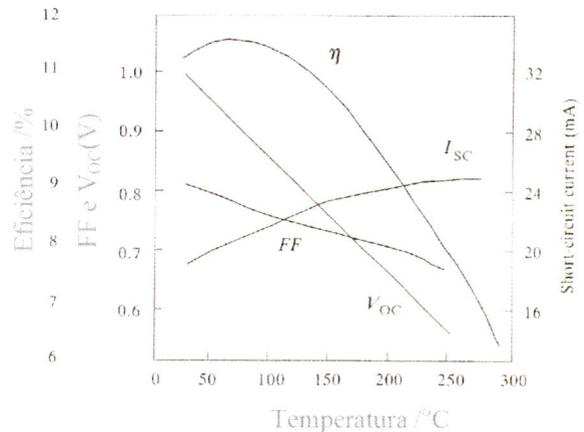


Figura 4.45 - Variação de alguns parâmetros de funcionamento com a temperatura (Lorenzo, 2004)

A diminuição de tensão em circuito aberto com o aumento da temperatura é visível através das curvas características de uma célula fotovoltaica, como se observa nos gráficos da figura 2.46.

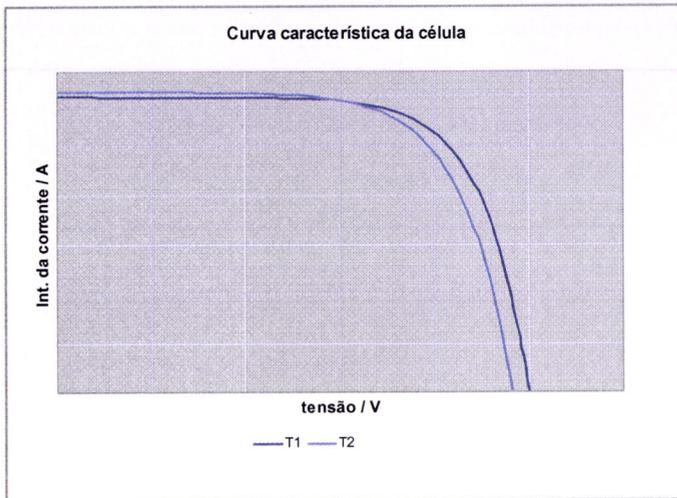


Figura 4.46 - Curvas características tensão-corrente de uma célula fotovoltaica para diferentes valores da temperatura, com  $T_1 < T_2$

### 2.5.6 Aspectos físicos da eficiência das células solares

Grande parte da energia que incide na célula não é convertida em energia eléctrica, sendo que, parte dos factores que determinam as perdas são inerentes ao seu funcionamento. Podem contudo, ser contornados na concepção das células alguns dos processos físicos que limitam a sua eficiência de conversão. Actualmente a eficiência típica das células comerciais encontra-se entre os 10% e 15%.

#### 2.2.6.1 Factores que limitam a eficiência das células

Podemos sistematizar os factores que limitam a eficiência das células, considerando 4 pontos:

- I. Não existir criação de pares electrão-lacuna
- II. A recombinação
- III. A resistência aos fluxos de corrente
- IV. A temperatura

### **I. Não existir criação de pares electrão-lacuna**

A inexistência de criação de pares electrão-lacuna pode suceder por diversos motivos:

- Os fótons incidentes não são absorvidos por não terem energia necessária para criar um par electrão-lacuna.
- Uma fracção dos fótons que têm energia suficiente para promoverem a criação de um par electrão-lacuna, atravessam o semiconductor sem serem absorvidos (perdas por transmissão);
- Uma fracção dos fótons incidentes de todos os c.d.o. são reflectidos quando tocam na superfície do semiconductor (perdas por reflexão)
- Efeito de autosombreamento resultante da grelha que estabelece o contacto eléctrico na superfície activa da célula (zona tipo-n), que condiciona a absorção da luz.

### **II. A recombinação**

A recombinação limita a tensão e a corrente produzidas, reduzindo a eficiência de conversão da célula fotovoltaica. Pode haver recombinação directa quando é gerado um par electrão-lacuna e o electrão regressa à lacuna, recombinando-se, sem contribuir para gerar electricidade e libertando novamente a energia, mas sob a forma de calor. A recombinação indirecta é mais comum nas células e pode ocorrer de diversas formas: por preenchimento, quando um electrão ou lacuna encontram uma impureza ou um defeito na estrutura do cristal ou quando uma carga portadora sofre uma colisão e perde energia, aumentando a probabilidade de cair numa lacuna. A recombinação aumenta assim, com a quantidade de impurezas e defeitos cristalográficos presentes no material.

### **III. A resistência aos fluxos de corrente**

Quanto maior a resistência interna da célula, menor será mobilidade das cargas, havendo mais recombinação e aumento da potência dissipada.

#### IV. A temperatura

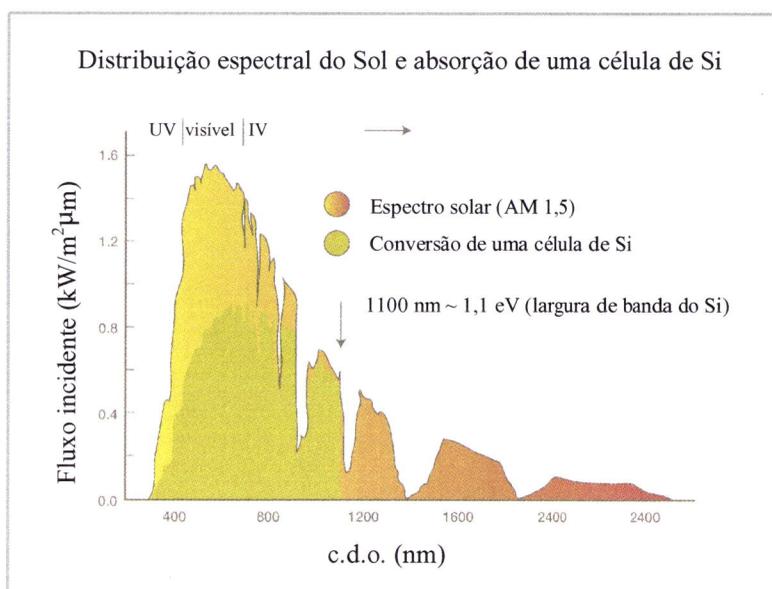
As células funcionam melhor a certas temperaturas, de acordo com as propriedades dos materiais que a constituem. Para temperaturas elevadas, a diminuição na eficiência resulta do aumento da energia térmica que condiciona o fluxo de cargas e à possível diminuição da capacidade de separação de cargas por parte da junção pn.

Um dos factores referidos que condiciona, à partida, a eficiência de uma célula fotovoltaica é o c.d.o. da radiação incidente. Isto porque, apenas uma fatia do espectro solar tem uma energia adequada para que os respectivos fotões sejam absorvidos e sejam potencialmente capazes de promover o efeito fotovoltaico. Iremos analisar a resposta espectral de uma célula fotovoltaica, tendo por base o seu funcionamento.

##### 2.5.6.2 Resposta espectral de uma célula de silício

A radiação solar contém fotões de todos os c.d.o., como mostra a figura 2.47, mas apenas uma parte tem energia adequada para promover o efeito fotovoltaico. A referida figura mostra o espectro solar para uma massa de ar de 1,5 e que caracteriza a radiação que incide num dispositivo fotovoltaico, em condições *standard*, bem como a zona de sensibilidade de uma célula de silício.

Pode-se verificar que os c.d.o. da radiação incidente, aos quais a célula é sensível, se encontram essencialmente na zona do visível e infravermelho, como é visível na figura 2.47.



**Figura 2.47 – Representação da distribuição espectral do Sol e a curva espectral de sensibilidade de uma célula fotovoltaica de silício, extraído e adaptado de Bosgraaf (2005)**

Para que haja absorção dos fótons pelo semicondutor, a sua energia deve ser igual ou superior à necessária, para que os electrões da banda de valência passem para a banda de condução (energia de banda ou *bandgap*), que se traduz matematicamente pela condição 2.17:

$$E_{\text{fóton}} = \frac{hc}{\lambda} \geq E_g \quad (\text{equação 2.17})$$

A luz proveniente do Sol ou de outra fonte de luz que incida sobre a junção p-n e tenha uma energia superior à energia de banda do silício, de aproximadamente 1,12 eV (i.e., um c.d.o. inferior a 1,1 µm) conseguirá promover a criação de um par electrão-lacuna e o possível efeito fotovoltaico. Quando a energia de um fóton é superior ao valor da energia de banda, parte é utilizada para promover o electrão para a banda de condução e a restante é transformada em energia térmica. Se a radiação incidente for muito energética (violeta e UV), os fótons são fortemente absorvidos na superfície do silício e geram pares de electrões lacuna, que se recombinam antes de serem separados pelo campo eléctrico da junção p-n. Os fótons com energia inferior à energia de banda, o que corresponde a c.d.o.

superiores a  $1,1 \mu\text{m}$ , não são absorvidos, gerando apenas calor sem contribuir para a geração de energia eléctrica, o que explica o espectro de sensibilidade típico de uma célula de silício, como se mostra na figura 2.48.

A eficiência teórica máxima de conversão de uma célula de silício, com base na sua curva de sensibilidade e no espectro solar, situa-se aproximadamente nos 45% (Exell, 2000).

A área sombreada, no gráfico da figura 2.49, representa a fracção que é transformada em energia eléctrica por uma célula de silício.

Podemos verificar que cada fóton com c.d.o. inferior a  $\lambda_{\text{Si}}$  (energia de banda do silício:  $1,1\mu\text{m}$ ) produz energia eléctrica no valor de  $E_{\text{fóton}}$ , sendo a energia excedente relativamente à energia mínima necessária, transformada em energia térmica. Para valores do c.d.o. maiores que  $\lambda_{\text{Si}}$  não há conversão de energia,

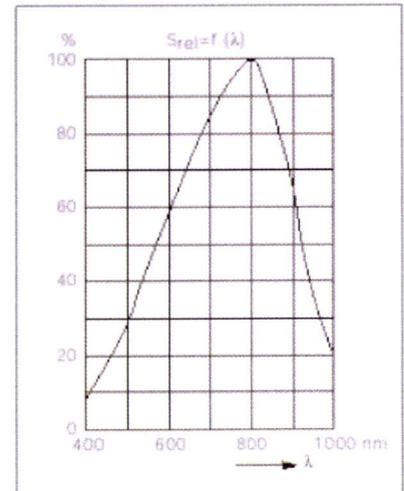


Figura 2.48 - Sensibilidade espectral relativa de uma célula de silício, extraída de [10]

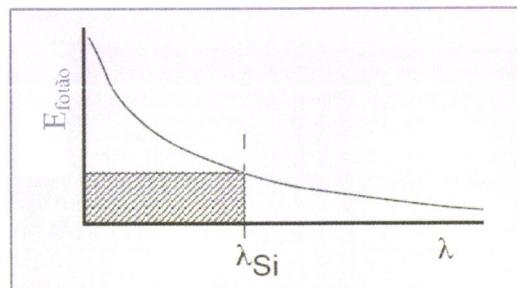


Figura 2.49 - Gráfico da energia por fóton em função do c.d.o., extraída de [11]

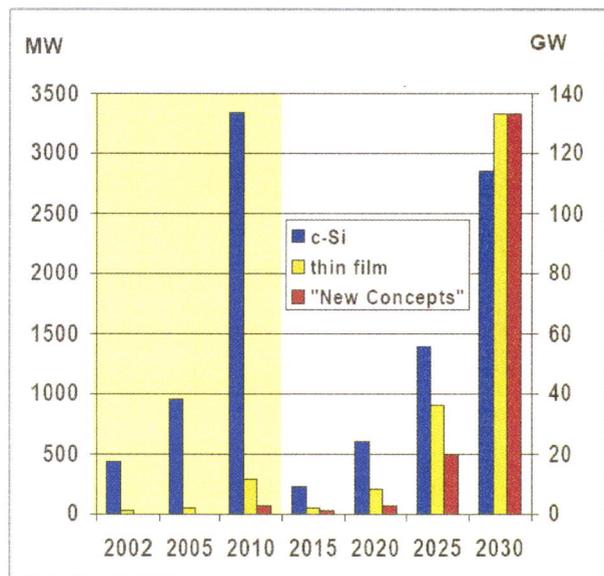
Para que os fótons menos energéticos possam promover o efeito fotovoltaico, podem conceber-se células com energias de banda menores, resultando uma maior intensidade de corrente, mas em contrapartida, terão uma menor diferença de potencial na junção. Considera-se uma energia de banda óptima para uma célula de um só material de aproximadamente  $1,4 \text{ eV}$  [11];

### 2.5.7 Tipos de células

Existem diferentes tipos de células como já foi referido, constituídas por diferentes materiais e arquiteturas. De seguida, faremos referência à constituição e funcionamento de algumas células fotovoltaicas, existente no mercado.

Geralmente as células são classificadas como cristalinas ou de película fina integrada, sendo a maior parte das células cristalinas, fabricadas com silício, utilizando cristais monocristalinos ou policristalinos.

No gráfico da figura 2.50, é possível verificar a evolução na produção de módulos de diferentes tecnologias e o cenário traçado até 2030. Actualmente as células de silício cristalino predominam no mercado, mas é visível no gráfico o aumento tendencial da produção de filmes finos e futuramente a entrada de novos conceitos de células fotovoltaicas no mercado.



**Figura 2.50 - Produção de módulos solares utilizando diferentes tecnologias, extraído de Hoffmann et al. (2004)**

As células de silício cristalino apresentam uma desvantagem relativamente às tecnologias de filmes finos, que se prende com a necessidade de uma maior quantidade de matéria prima por unidade de área, dado que, a sua espessura é cerca de 100 a 200 vezes superior à das células com filmes finos.

A produção de módulos solares no ano de 2003, utilizando as diferentes tecnologias é mostrada no gráfico da figura 2.51, onde se explicitam as fatias referentes à produção de módulos de silício monocristalino e multicristalino.

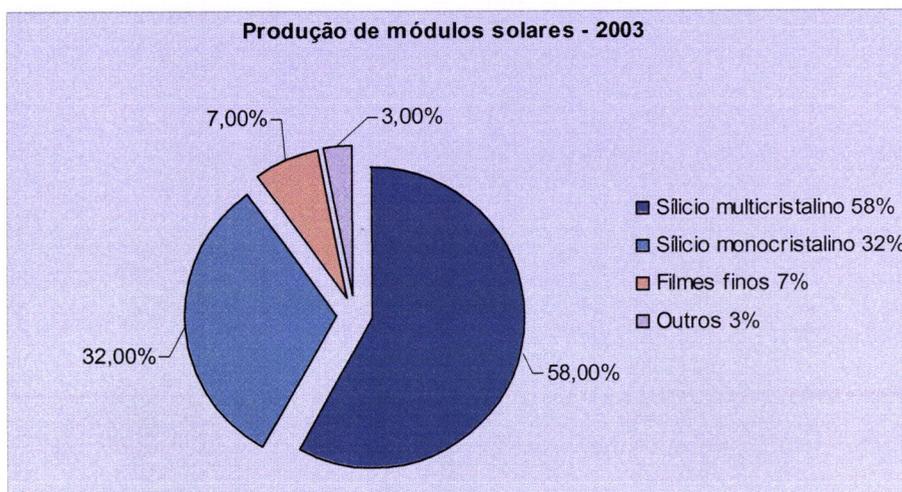


Figura 2.51 - Produção de módulos solares utilizando as diferentes tecnologias em 2003, extraído de (Commission EUR, 2005)

#### 2.5.7.1 Células de silício monocristalino

O silício monocristalino é o mais utilizado na construção das células fotovoltaicas (figura 2.52). É caracterizado pela disposição ordenada e periódica dos átomos de silício formando um único cristal. A principal vantagem destas células é a eficiência na conversão da luz solar, que se situa entre os 12 e 15%. Estas células obtêm-se a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino, que são cortadas em forma de pastilhas quadradas muito finas, com cerca de 300  $\mu\text{m}$  de espessura. Têm como inconveniente o preço elevado que está relacionado o processo de fabrico. Representam a primeira geração de células fotovoltaicas.

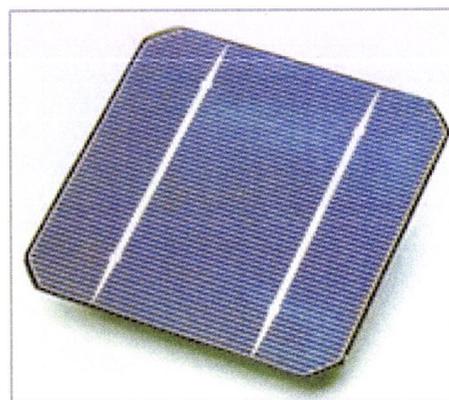
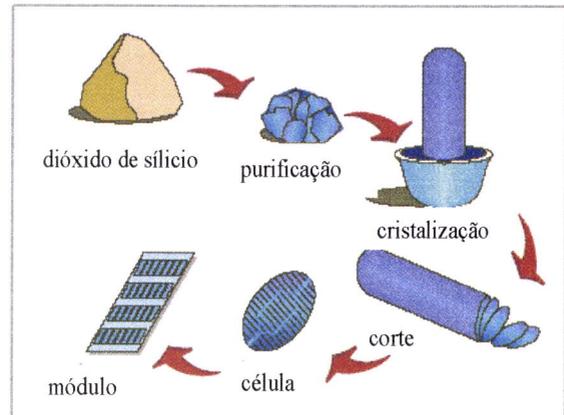


Figura 2.52 - Célula fotovoltaica de silício monocristalino, extraído de [12]

## Processo de fabrico

O silício utilizado no fabrico de células fotovoltaicas provém do dióxido de silício que é o principal constituinte da areia. Este material é fundido em grandes fornos, depois purificado e solidifica em grandes lingotes. O grau de pureza do silício utilizado nas células é da ordem dos 99,9999%. É necessário que o silício se encontre na forma cristalina, apresentando poucos defeitos, uma vez que estes irão contribuir para uma diminuição da eficiência de conversão. Depois de purificado, segue-se o processo de cristalização e posteriormente o processo de corte dos lingotes em fatias muito finas, com espessuras da ordem da décima de milímetro. A figura 2.53 sistematiza as principais fases do processo de fabrico de células de silício cristalino.



**Figura 2.53 - Representação do processo de fabrico das células de silício cristalino, extraído e adaptado de [13]**

Depois de eliminadas as irregularidades e defeitos resultantes do corte, as superfícies sofrem um tratamento antireflexo de forma a maximizar a absorção da radiação incidente.

A produção das células consiste na deposição dos dopantes sobre estas bolachas de forma a criar a junção pn e posteriormente na colocação dos contactos eléctricos adequados na superfície das células.

### 2.5.7.2 Célula de silício policristalino

As células policristalinas (figura 2.54) são constituídas por um número muito elevado de pequenos cristais, sendo esta descontinuidade da estrutura molecular facilitadora da recombinação electrão-



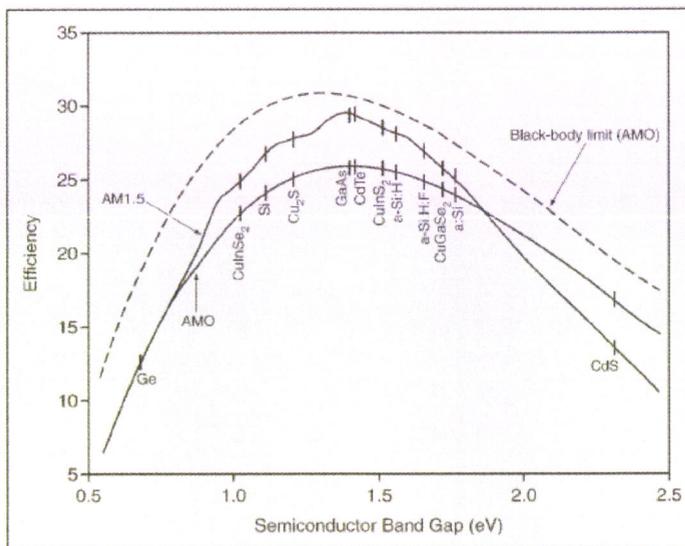
**Figura 2.54 - Célula fotovoltaica feita de silício policristalino, extraída de [14]**

lacuna, uma vez que oferece maior resistência ao fluxo dos electrões do que as células monocristalinas. Desta forma, a eficiência na conversão da luz é ligeiramente inferior do que as monocristalinas, sendo da ordem de 11 a 14%.

Por outro lado, apresentam custos de produção menos elevados, o que resulta de um processo de fabrico menos complexo do que no caso das monocristalinas e a energia necessária para as produzir é significativamente reduzida.

### 2.5.7.3 Células de película fina integrada ou filmes finos

Esta designação advém da reduzida espessura, comparativamente, à das tecnologias cristalinas. As células de película fina integrada (*thin-film cells*) são tipicamente feitas de um semicondutor depositado sobre uma base (rígida ou flexível) e o material de contacto. Utilizam menos de 1% da quantidade do material semicondutor das outras células, o que permite reduzir parcialmente os custos. Os materiais utilizados nestas células incluem o silício amorfo, o silício policristalino e outros compostos semicondutores como:  $\text{Cu}_2\text{S}$ ,  $\text{CuInS}_2$ ,  $\text{CuInSe}_2$ ,  $\text{CuGaSe}_2$ ,  $\text{CdTe}$  e  $\text{GaAs}$ .



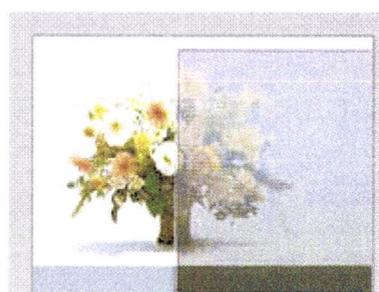
**Figura 2.55 - Comparação das eficiências de células de diferentes materiais e a respectiva banda de energia para diferentes condições: AM0 e AM1.5, extraído de California Energy Commission (2003)**

Estes semicondutores e o silício cristalino têm uma energia de banda entre 1.1 e 1.7 eV e apresentam eficiências com valores bastante razoáveis, pelo menos, comparativamente, como se pode ver no gráfico da figura 2.55. O silício amorfo encontra-se fora do intervalo considerado óptimo, com uma energia de banda de 1.8 eV (Haug, 2003, citado em California Energy Commission, 2003).

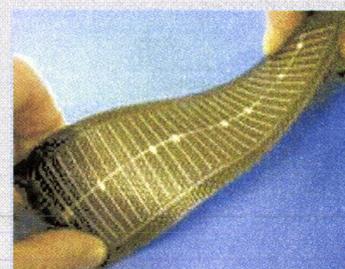
As células de silício amorfo (a-Si) são compostas por um suporte de vidro ou de uma outra matéria sintética, na qual é depositada uma fina camada de silício, podendo obter-se células de espessuras muito pequenas e com grandes áreas. O silício amorfo não apresenta estrutura cristalina e os seus defeitos estruturais podem ser minimizados através de um processo designado por *hidrogenização*, no qual se acrescentam pequenas quantidades de hidrogénio que irão estabelecer ligações, de forma a permitirem a redução da resistência ao fluxo dos electrões. O processo de fabrico é ainda mais económico do que nas células policristalinas e apresentam um baixo consumo de energia na produção. Esta tecnologia é utilizada em sistemas de instalações integradas, substituindo o vidro por módulos semitransparentes (figura 2.56) e em pequenas aplicações como relógios e calculadoras.

A figura 2.57 mostra uma célula de silício amorfo flexível. As suas dimensões são (17,5 X 6) cm e a espessura inferior a 1mm. É leve (~19g) e à prova de água. Tem uma durabilidade de cerca de 20 anos.

Actualmente, parte da investigação na tecnologia fotovoltaica recai na procura de novos materiais. Esta necessidade prende-se com o facto da transformação do silício ser tecnologicamente complexa e, conseqüentemente, dispendiosa e ter associado um impacto ambiental não ser desprezável. Por outro lado, a performance das células de silício degrada-se com o tempo. Procuram-se, assim, materiais fotovoltaicos menos dispendiosos e com melhores eficiências.



**Figura 2.56 - Módulo semitransparente, extraída de [15]**



**Figura 2.57 - Célula fotovoltaica de silício amorfo, extraída de [16]**

Alguns dos materiais que se mostram actualmente mais promissores são o disselénio de índio e cobre ( $\text{CuInS}_2$ ) e o telurídio de cádmio ( $\text{CdTe}$ ). O disselénio de índio e cobre apresenta ainda algumas dificuldades a nível de produção e o índio é pouco abundante; o telurídio de cádmio traz consigo o problema da toxicidade e, em consequência, uma menor aceitação por parte do mercado (Green, 1998, Santos, Antunes, 2003).

Algumas células possuem arquiteturas diferentes da célula de silício que descrevemos anteriormente (no ponto 2.5.2, página 52). São concebidas com múltiplas junções (ver figura 2.58), em que cada uma das junções é sensível a uma determinada região do espectro, estando dispostas de forma a absorverem comprimentos de onda crescentes da radiação incidente.

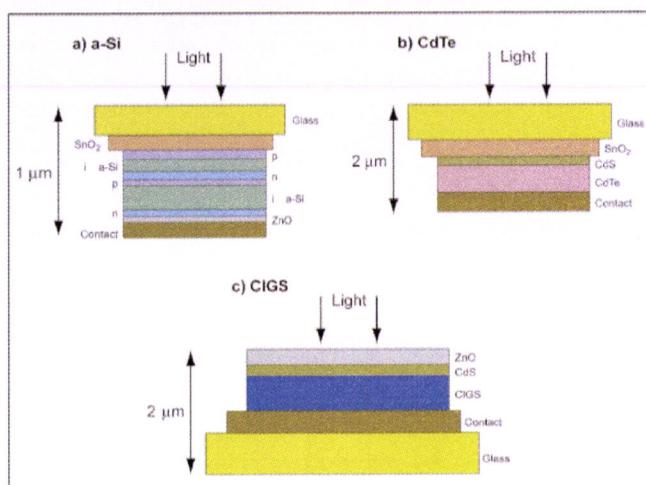


Figura 2.58 - Exemplos de células de película fina: a) Silício Amorfo, b) Telurídio de Cádmio e c) disselênio de índio e cobre, extraído de [6]

A tabela 2.1 resume as eficiências típicas e as máximas dos módulos e das células, de algumas tecnologias fotovoltaicas comercialmente viáveis.

Tabela 2.1 - Eficiências de conversão típicas e máximas dos módulos e células, em condições STC (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C, espectro solar AM1.5), extraída de [17]

Tipo	Eficiência típica do módulo [%]	Máximo registado na eficiência do módulo [%]	Máxima de eficiência registado em laboratório [%]
Silício monocristalino	12-15	22,7	24,7
Silício policristalino	11-14	15,3	19,8
Silício amorfo	5-7	---	12,7
Telurídio de cádmio	---	10.5	16.0
CIGS	---	12,1	18,2

## 2.6 Descrição dos sistemas fotovoltaicos

### 2.6.1 Classificação dos sistemas fotovoltaicos e aplicações

Além do gerador fotovoltaico que está sempre presente, os componentes de um sistema fotovoltaico dependem da aplicação considerada e do tipo de sistema. Segundo a classificação da PVPS (Photovoltaic Power Systems Programme), podemos considerar quatro tipos de sistemas fotovoltaicos [13]:

**1. Sistemas isolados domésticos (*Off-grid domestic*):** sistemas que fornecem energia para electrificação de casas, iluminação, refrigeração e outras pequenas cargas em locais isolados. Estes sistemas oferecem geralmente uma alternativa economicamente viável quando distam mais do que 1 ou 2 km da rede eléctrica existente.

**2. Sistemas isolados não domésticos (*Off-grid non-domestic*):** sistemas que fornecem energia eléctrica a aplicações comerciais, tais como, telecomunicações (retransmissores de televisão, rádio e telemóveis), bombagem de água (irrigação e abastecimento), frigoríficos médicos, ajuda à navegação aérea e marítima, dessalinização por osmose inversa e estações de recolha de dados meteorológicos. São aplicações que exigem potências relativamente baixas, mas de grande interesse e economicamente viáveis.

**3. Sistemas distribuídos ligados à rede (*Grid-connected distributed*):** sistemas que fornecem energia eléctrica a edifícios comerciais ou industriais ou outras cargas, ligados à rede, para onde é enviada a energia em excesso. A potência deste tipo de aplicações varia tipicamente entre 0,4 kW e 100 kW. Por vezes, neste tipo de sistemas, os módulos podem ser integrados na arquitectura dos edifícios (*Building integrated PhotoVoltaic ou BIPV*) substituindo alguns materiais de construção e evitando a ocupação de grandes áreas de terrenos.

Os sistemas de produção de energia fotovoltaica ligados à rede resultam da tendência para a descentralização da produção eléctrica. A energia é produzida num local mais próximo

do seu consumo e não apenas por grandes centrais térmicas ou hídricas, permitindo reduzir custos e perdas associados ao transporte.

Um sistema ligado à rede produz a sua própria energia e encaminha o excedente para a rede, na qual também se abastece, em caso de necessidade. Desta forma, não são necessárias baterias para acumular energia.

**4. Sistemas centralizados ligados à rede (*Grid-connected centralized*):** sistemas que fornecem energia eléctrica à rede, como um reforço ou alternativa, à produção centralizada convencional.

Actualmente, as aplicações são as mais variadas quer nos seus fins quer nas potências que oferecem. Inicialmente, os sistemas fotovoltaicos eram instalados essencialmente em locais afastados da rede, permitindo o acesso à energia eléctrica, mas actualmente, assiste-se a um grande aumento de instalações com ligação à rede, como podemos ver no gráfico da figura 2.59, que mostra a evolução da potência acumulada instalada no nosso país.

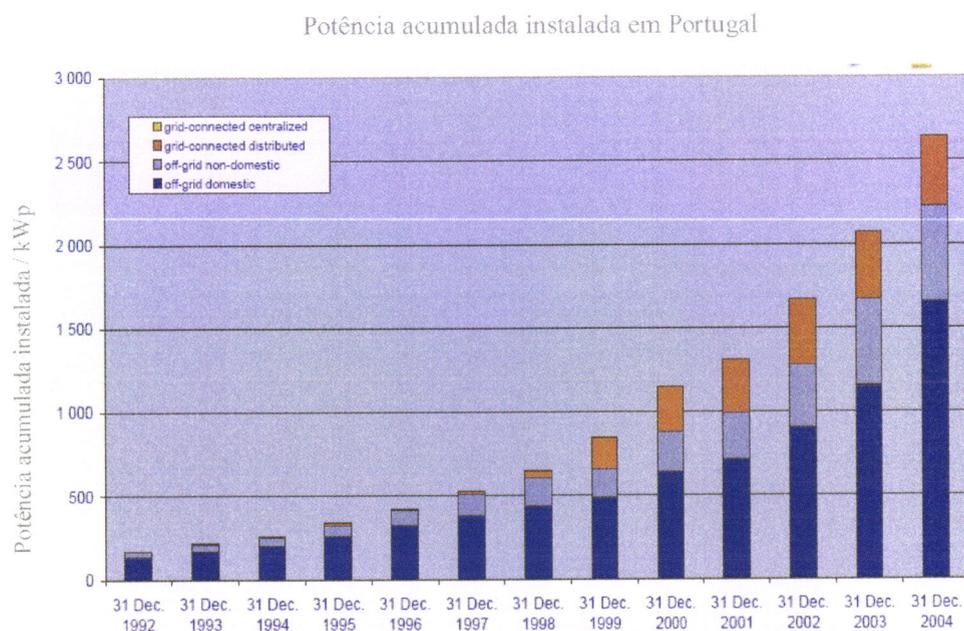


Figura 2.59 - Gráfico da potência acumulada instalada em Portugal, entre 1992 e 2004, extraído de ADENE (2005)

## Outras aplicações

Não foram referidas aplicações de pequena potência como telefones de emergência, sinalização rodoviária e ferroviária (passagens de nível), parquímetros, candeeiros e lanternas. Existem ainda, algumas aplicações de pequenos módulos fotovoltaicos em automóveis comerciais, como é exemplo do *Mazda 929*, no qual a energia eléctrica fotovoltaica serve para alimentar o sistema de ventilação.

Das várias aplicações mencionadas, a nossa atenção irá recair sobre os sistemas isolados, uma vez que o contexto da actividade experimental do programa de Física e Química A, em torno da qual se desenvolve o nosso estudo, refere-se ao projecto de uma instalação fotovoltaica numa habitação sem ligação à rede e sem geradores de apoio, ou seja, um sistema isolado doméstico. Uma das actividades pós-laboratorial da actividade em questão, que o programa sugere, é o dimensionamento dos painéis para a referida aplicação, pelo que, nos iremos debruçar sobre o dimensionamento de sistemas isolados considerando a tipologia que serve de contexto à actividade, ou seja, um sistema em que o gerador fotovoltaico é o único dispositivo que fornece energia à habitação.

Começaremos por abordar o funcionamento dos componentes de um sistema fotovoltaico isolado e, posteriormente, apresentaremos uma forma de fazer o dimensionamento.

### 2.6.2 Componentes de um sistema isolado

Geralmente, um sistema fotovoltaico inclui diversos componentes, que a seguir se referem:

- **Gerador fotovoltaico**, que consiste no conjunto dos módulos fotovoltaicos, cujo funcionamento já foi descrito anteriormente (ponto 2.5.5.1, página 62);
- **Um gerador auxiliar** (opcional), que contribui juntamente com o fotovoltaico para fornecimento de energia eléctrica. Os geradores associados são geralmente aerogeradores, geradores a combustível ou micro-turbinas hidráulicas.

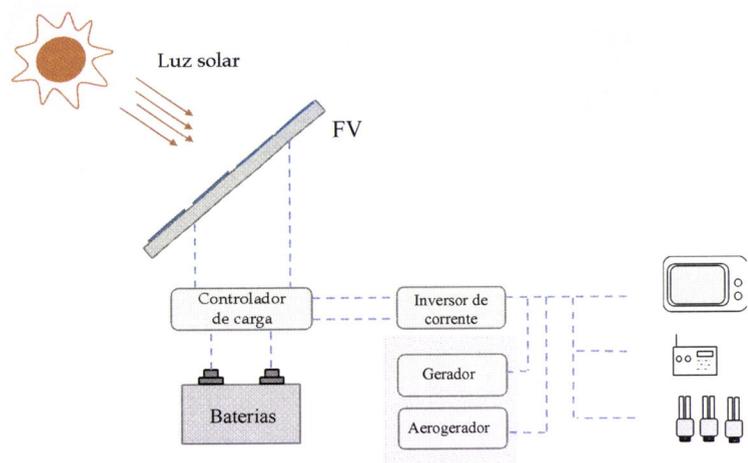
- **Um acumulador** que é geralmente um banco de baterias electroquímicas;
- A carga, ou seja, o **conjunto dos receptores**, que poderão funcionar com corrente contínua ou com corrente alterna;
- Equipamentos electrónicos de protecção e controlo entre componentes, como **reguladores de carga e inversores**.

### 2.6.2.1 Gerador

O gerador fotovoltaico é constituído por um ou mais módulos ou painéis. No caso dos sistemas híbridos, o gerador de energia fotovoltaico encontra-se combinado com um aerogerador, com um gerador a combustível, ou ambos. A tipologia mais comum inclui apenas o gerador a combustível. Estes sistemas permitem satisfazer uma alimentação permanente sem a necessidade de instalar uma potência muito elevada de módulos fotovoltaicos.

Os sistemas independentes, que dependem apenas da energia solar para responderem às exigências do consumo, podem fazê-lo, sem recurso a armazenamento de energia, como na bombagem de água, mas têm geralmente baterias associadas que permitem contornar o fornecimento de energia intermitente e imprevisível do gerador fotovoltaico, já que depende não só das variações dia/noite mas também das condições atmosféricas.

O sistema representado na figura 2.60 é designado por híbrido, porque contém os



**Figura 2.60** - A figura representa uma configuração possível para um sistema sem ligação à rede

apoios ao gerador fotovoltaico: um gerador a combustível e/ou um aerogerador.

#### 2.6.2.2 Baterias

A produção de energia eléctrica pela via fotovoltaica varia, diária e sazonalmente, bem como as possíveis necessidades de consumo, pelo que é necessária a integração de dispositivos de armazenamento, para a utilização de energia durante a noite ou em períodos de menor produção.

A solução mais comum para acumular a electricidade fotovoltaica é baseada em baterias electroquímicas, tradicionalmente de chumbo ou de níquel-cádmio. Dos diversos tipos de baterias utilizadas, todas deverão ter uma característica comum, que consiste em serem de ciclo profundo. O que significa que, permitem descargas relativamente profundas, sem comprometerem o seu tempo de vida. De qualquer modo, o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos é feito de forma a que as baterias não sofram descargas demasiado profundas.

A tensão do banco de baterias é imposta a todos os elementos que a ela estão ligados, incluindo o módulo fotovoltaico, pelo que o bom funcionamento do sistema fotovoltaico passa pelo dimensionamento adequado das baterias. Um módulo com uma tensão máxima de saída de 20 V não elevará uma bateria de 12 V para 20 V, uma vez que é a bateria que condiciona o ponto de funcionamento do módulo. Na figura 2.61 está representada a amplitude de tensão da bateria, entre 12 e 14 V e a zona de funcionamento dos módulos dentro desse intervalo.

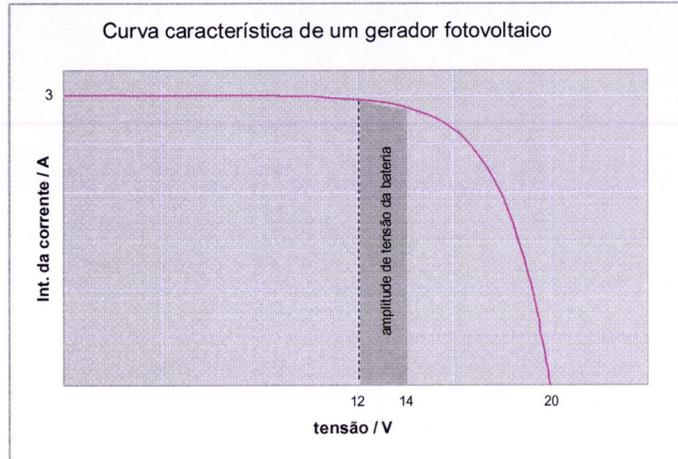


Figura 2.61 - Curva característica de um gerador fotovoltaico e zona de funcionamento quando ligado a um banco de baterias

Uma vez que a tensão e a corrente de saída do módulo variam ao longo do dia, devido à variação da irradiância e temperatura, a corrente fornecida à bateria será variável. Deste modo, as baterias deverão ser dimensionadas para que o ponto de funcionamento se localize na potência máxima do gerador fotovoltaico, onde a tensão variará relativamente pouco com a irradiância (figura 2.62).

As baterias acrescentam um custo considerável ao sistema e requerem alguma manutenção, mas são indispensáveis para que um sistema sem ligação à rede possa ser realmente autónomo.

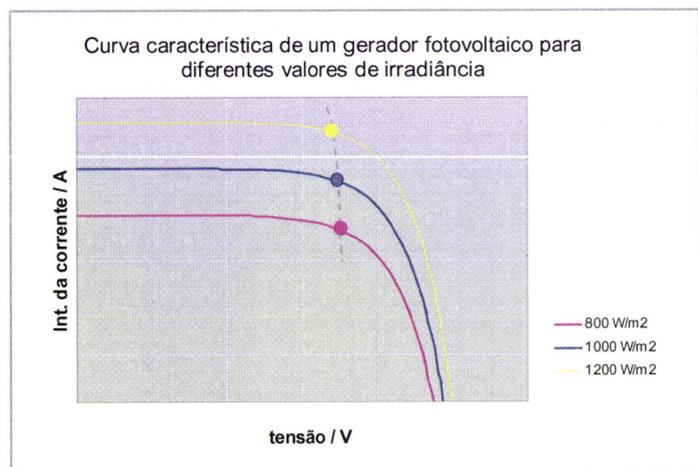


Figura 2.62 - A figura mostra a pequena variação na tensão fornecida pelo gerador fotovoltaico, no ponto de máxima potência, para diferentes valores da irradiância

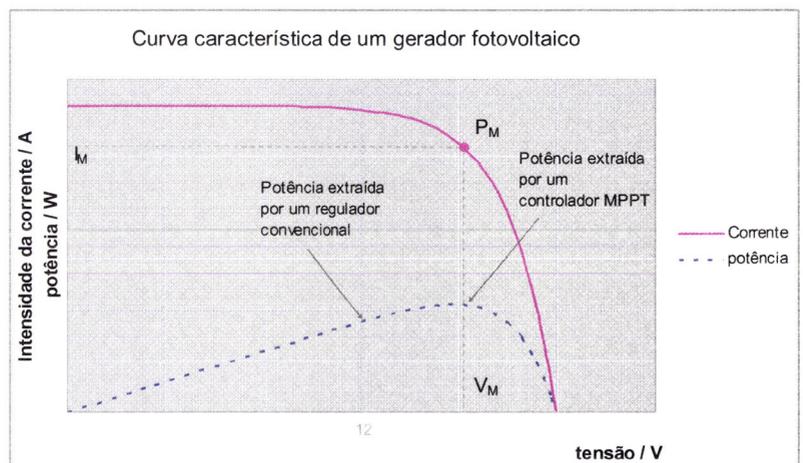
### 2.6.2.3 Inversores

Os módulos fotovoltaicos produzem corrente contínua, sendo muitas das vezes, necessário converter para corrente alternada, requerendo um dispositivo designado por inversor. Isto porque, a maior parte dos aparelhos que utilizamos em nossas casas estão preparados para funcionarem com corrente alternada. O mesmo acontece em sistemas ligados à rede, em que é necessário converter a corrente contínua em corrente alternada para conectar à rede. Consoante a tipologia do sistema, pode ser necessário instalar um inversor DC/AC que transforma a corrente contínua em alternada, ou DC/DC que permita fornecer à resistência exterior uma tensão ou corrente DC mas com um valor diferente da que é gerada.

Os inversores ligados directamente aos painéis incorporam geralmente um regulador MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), que ajusta continuamente a resistência exterior de forma a extrair sempre a máxima potência do sistema.

### 2.6.2.4 Reguladores de carga

Um regulador de tensão que serve para controlar o fluxo de energia entre o gerador e a resistência exterior (carga). A principal função é a de proteger a bateria de sobrecargas (devido ao excesso de energia radiante incidente), podendo ter outras funções incorporadas como: proteger as baterias de descargas profundas (que depende do utilizador) e assegurar a monitorização e segurança da instalação. Existem diferentes tipos de



**Figura 2.63 - A figura mostra o ponto de máxima potência do gerador e os pontos de funcionamento extraídos com um regulador convencional e um controlador MPPT**

reguladores, desde os mais simples que apenas ligam e desligam o fornecimento de energia às baterias, aos mais complexos que procuram o ponto de potência máxima do gerador fotovoltaico (figura 2.63).

Quando se liga o gerador fotovoltaico a um banco de baterias e se utiliza um regulador convencional, os painéis ficam forçados a operar à tensão das baterias e não no seu ponto de potência máxima. Em geral, procura-se que o valor da tensão de carga das baterias coincida com o valor de tensão de saída dos painéis que não esteja sujeito a grandes variações, próximo do ponto de máxima potência, como já foi referido anteriormente.

A forma de obter o máximo de energia dos módulos, em cada instante, será fazendo coincidir o seu ponto de funcionamento com o ponto de máxima potência para as condições impostas da irradiância e temperatura.

Procurar este ponto de funcionamento é a função dos reguladores designados por reguladores de ponto de potência máxima ou MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

Estes reguladores utilizam um circuito electrónico de forma a poderem extrair sempre o máximo de energia disponível dos painéis, colocando-os a operar no ponto de potência máxima (figura 2.64). Este circuito inclui um conversor CC-CC que permite alimentar as baterias garantindo a máxima extração de energia dos painéis e ainda monitoriza o processo.

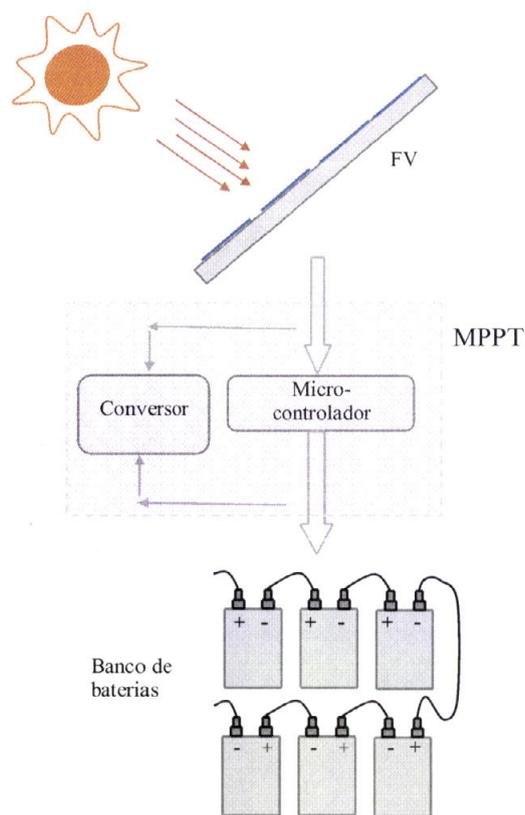


Figura 2.64 – Representação do MPPT de um sistema fotovoltaico

Outra unidade do circuito que comanda o conversor é um microcontrolador que implementa um algoritmo que maximiza a potência extraída, o que corresponde a encontrar o máximo da curva P-V, que como já referimos, varia ela própria com as condições de irradiância e temperatura.

Existem vários métodos iterativos que possibilitam a procura do ponto de potência máxima do gerador, como o método da perturbação e observação (Santos, Antunes, 2003) e o método da variação da condutância (Trindade, Martins, Afonso, 2005).

### 2.6.3 Dimensionamento de sistemas isolados

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico é uma das etapas fundamentais quando se pretende instalar um sistema ou avaliar a viabilidade económica de uma dada instalação. Um dimensionamento adequado deve, para além de garantir a energia eléctrica ajustada aos consumos, assegurar a fiabilidade do sistema ao longo tempo, garantindo o cumprimento dos objectivos considerados na sua concepção.

Dimensionar um sistema é determinar o tamanho das instalações, ou seja, número de módulos e de baterias necessários e as características exigidas aos restantes equipamentos (regulador, inversor e cabos). Existem vários métodos que permitem dimensionar um sistema fotovoltaico, entre os quais:

- **Método do pior mês**, em que o dimensionamento é realizado com base no pior mês do ano, no qual a relação entre a irradiância e o consumo de energia é mais desfavorável e tem como objectivo que o sistema forneça a energia necessária nestas condições, garantindo igualmente o fornecimento nos restantes meses do ano. Se os consumos de energia não variarem muito ao longo do ano, o pior mês será aquele que apresenta uma irradiância menor, que em Portugal é o mês de Dezembro;
- **Método do balanço de energia**, em que se considera que a energia produzida pelo painel deve ser igual à energia consumida num determinado período;

- **Método da probabilidade de perda de carga**, em que se determina o diagrama de produção e diagrama de consumo estimando-se a probabilidade de o sistema não alimentar a carga;

Iremos abordar o método do pior mês por ser relativamente simples e fornecer bons resultados.

Para dimensionar um sistema fotovoltaico tem que se ter em conta, por um lado, o consumo de energia a garantir, e por outro, a radiação solar disponível. No caso de sistemas autónomos é necessário um fornecimento constante mesmo em condições desfavoráveis (durante a noite e períodos de fraca irradiância) e caso de não exista sistema de apoio, são os painéis e o banco de baterias que têm que garantir integralmente o fornecimento de energia.

Para fazer o dimensionamento de um sistema é fundamental conhecer previamente alguns dados *geográficos* (latitude do lugar e dados da radiação solar) e *técnicos* (dias de autonomia e características dos elementos do sistema).

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico utilizando o método do pior mês inclui os seguintes passos:

1. Cálculo do consumo de energia diário
2. Determinação da corrente fornecida pelos módulos no pior mês
3. Cálculo do número de módulos fotovoltaicos necessários
4. Dimensionamento das baterias

1. Cálculo do consumo de energia diário

Começa-se por estimar a energia eléctrica consumida diariamente. Para tal, pode consultar-se o recibo de electricidade ou calcula-se a energia consumida com base na potência dos aparelhos e do tempo médio de funcionamento diário.

Na aplicação elaborada para estimar a dimensão e custo do sistema fotovoltaico, que se encontra no anexo V, é possível obter o valor do consumo diário, conhecendo os equipamentos existentes e a sua potência, bem como o tempo de utilização.

A tabela 2.2 fornece algumas potências típicas de aparelhos comuns, sendo os valores considerados referentes a aparelhos considerados eficientes ou de baixo consumo.

Deve ser uma prioridade optar, sempre, por equipamentos eficientes (classe A), lâmpadas de poupança de energia e ter atenção às cargas “fantasma”, que contribuem para um aumento dos consumos. Estes cuidados não são exclusivos para quando se pretende utilizar energia proveniente de um sistema fotovoltaico, mas neste caso, estas opções terão uma retribuição imediata no custo do sistema.

No caso concreto de uma habitação é de esperar que os vários aparelhos estejam preparados para funcionar com corrente alterna.

No caso de existirem aparelhos que funcionem com corrente contínua, os seus consumos devem ser calculados separadamente, uma vez que neste caso não é preciso considerar as perdas de energia no inversor.

Tabela 2.2 - Valores típicos da potência de alguns equipamentos eléctricos

Aparelho eléctrico	Potência (W)
<i>Máquina de lavar loiça</i>	1200-2400
<i>Máquina de roupa</i>	350-500
<i>Máquina de secar</i>	1800-5000
<i>Máquina de café</i>	800-1200
<i>Ferro de engomar</i>	1000
<i>Frigorífico</i>	475-725
<i>Aparelhagem e som</i>	30
<i>Relógio</i>	3
<i>Desumidificador</i>	785
<i>Microondas</i>	550-1500
<i>Torradeira</i>	900-1100
<i>Computador</i>	80-150
<i>Impressora</i>	100
<i>Lâmpada de poupança de energia</i>	12-20
<i>Lâmpada fluorescente</i>	7-26
<i>TV cores 25"</i>	150
<i>TV P&amp;B 12"</i>	20

O consumo de energia referente a dispositivos que funcionam com corrente contínua ( $E_{cargas\_DC}$ ) e o consumo referente a dispositivos de corrente alterna ( $E_{cargas\_AC}$ ) deverão ser calculadas separadamente e da seguinte forma:

$$E_{CARGAS\_DC} = \sum P_{CARGA\_DC} \times t \text{ (W.h)} \quad \text{(equação 2.18)}$$

$$E_{CARGAS\_AC} = \sum P_{CARGA\_AC} \times t \text{ (W.h)} \quad \text{(equação 2.19)}$$

Para calcular a energia que os módulos devem fornecer ( $E_f$ ) para garantir os consumos, tem que se introduzir um factor, de forma a considerar variações não previstas nos consumos e perdas nos cabos, ligações ou outras perdas e que se designa por margem de segurança ( $M_{seg}$ ). Normalmente atribui-se a este factor o valor de 15 %.

A energia a fornecer aos dispositivos de corrente contínua ( $E_{CARGAS\_DC}$ ) será dada pela equação 2.20:

$$E_{DC} = (100 + M_{seg}) \times E_{CARGAS\_DC} / 100 \text{ (W.h)} \quad \text{(equação 2.20)}$$

No cálculo da energia a fornecer aos dispositivos de corrente alterna ( $E_{CARGAS\_AC}$ ) tem que ser considerada a eficiência do inversor ( $\eta_{inv}$ ) que se considera geralmente cerca de 85%. A energia fornecida a estes dispositivos será dada pela equação 2:

$$E_{AC} = (100 + M_{seg}) \times E_{CARGAS\_DC} / \eta_{inv} \text{ (W.h)} \quad \text{(equação 2.21)}$$

A energia total fornecida num dia ( $E_f$ ) obtém-se somando as energias fornecidas aos dispositivos de corrente contínua e de corrente alterna:

$$E_f = E_{CARGAS\_AC} + E_{CARGAS\_DC} \quad \text{(equação 2.22)}$$

Se o consumo não for constante nos vários meses, dever-se-á calcular os vários consumos de forma a determinar qual o pior mês a considerar, ou seja, o mês para o qual é menor a relação entre consumo e a irradiância.

## 2. Determinação da corrente fornecida pelos módulos no pior mês

O cálculo da radiação solar que incide sobre o plano do painel fotovoltaico é complexa, mas pode obter-se uma aproximação bastante aceitável supondo que a energia recebida corresponde à energia média que incide numa dada região. Conhecendo o número de "horas pico de sol" (HPS) num dado local podemos conhecer a energia que chega aos painéis durante um dia. Considerando que a potência instantânea de um módulo é aproximadamente proporcional à irradiância, podemos determinar a corrente de funcionamento para o pior mês ( $I_m$ ) de forma a garantir o consumo diário através da equação 3:

$$I_m = E_{\text{dia}} / (\text{HPS} \cdot V_n) \text{ (A)} \quad (\text{equação 2.23}),$$

em que  $V_n$  é a tensão DC nominal do sistema.

## 3. Cálculo do número de módulos fotovoltaicos necessários

O número de módulos em paralelo necessários obtém-se conhecendo o valor de  $I_m$  e considerando um factor de segurança FS (entre 1,1 e 1,3) que introduz as perdas no regulador e nos acumuladores e as perdas devido a erros de orientação, sombreamentos, entre outros.

Define-se a corrente de pico,  $I_p$ , como:

$$I_p = \text{FS} \times I_m \text{ (A)} \quad (\text{equação 2.24})$$

Pretende-se que o conjunto dos módulos forneça uma intensidade  $I_p$  de forma a satisfazer as necessidades energéticas diárias no pior mês.

O número de módulos necessários ligados em paralelo obtém-se pela relação entre o valor da corrente de pico máxima (corrente para o ponto de máxima potência e é fornecida pelo fabricante) e a corrente para o pior mês:

$$N_p \geq I_p / I_{p_{\max}} \quad (\text{equação 2.25})$$

Quando possível utilizam-se módulos cuja tensão de máxima potência é semelhante à tensão nominal do sistema  $V_n$  ou, em alternativa podem-se associar em série o número de módulos que permita alcançar essa tensão. Esse número pode ser obtido pela relação:

$$N_s \geq V_n / V_{p_{\max}} \quad (\text{equação 2.26})$$

Os valores de  $N_p$  e  $N_s$  são os números inteiros mais próximos que satisfazem as respectivas condições, 2.25 e 2.26.

O número total de módulos será:

$$N = N_p N_s \quad (\text{equação 2.27})$$

#### 4. Dimensionamento das baterias:

Os parâmetros mais importantes para o dimensionamento do banco de baterias são:

- Eficiência da bateria ( $\eta_{\text{bat}}$ );
- A máxima profundidade de descarga permitida para o modelo de bateria adoptada (PD);
- O número de dias “sem sol”: a capacidade do banco de baterias depende da autonomia requerida para o sistema, ou seja, do número de dias que o sistema pode funcionar autonomamente sem necessidade que haja irradiação solar ( $n_{\text{aut}}$ )

A capacidade nominal pode ser calculada pela seguinte equação:

$$C_n \geq E_{\text{dia}} n_{\text{aut}} / (V_n \text{ PD } \eta_{\text{bat}}) \text{ (A}\cdot\text{h)} \quad (\text{equação 2.28})$$

em que  $V_n$  é a tensão de trabalho do sistema.

O número de baterias em série necessário é obtido por:

$$N_{\text{bat}} = V_n / V_{\text{nbat}} \quad (\text{equação 2.29}),$$

sendo  $V_{\text{nbat}}$  a tensão de cada bateria.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico inclui ainda análise das características requeridas para o regulador de carga, inversor e cabos utilizados que não abordaremos neste trabalho.

O método de dimensionamento anteriormente descrito pressupõe que os módulos são fixos e baseia-se no valor da insolação para uma dada região. Podemos ver pelo diagrama da figura 2.65, como o valor da insolação (obtido pela área sob a curva a tracejado) fica dilatado quando os módulos são móveis, sendo necessário à partida, um menor número de módulos.

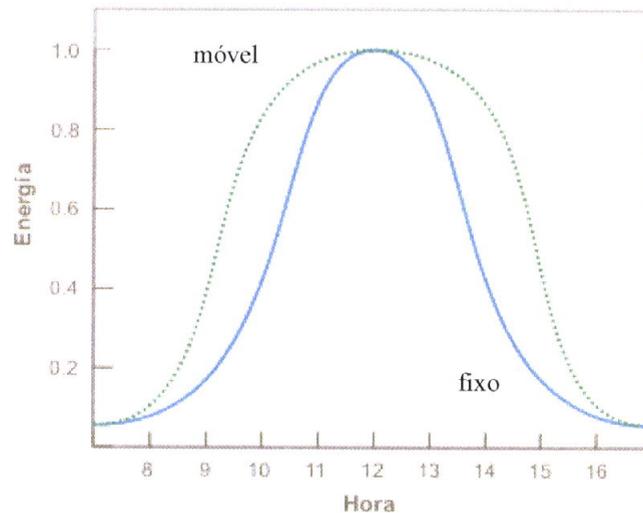


Figura 2.65 - Gráfico da energia recebida por um dispositivo fotovoltaico fixo (a cheio) e para um dispositivo móvel (a tracejado), extraído de Santos (2003)

## 2.7 Instalação de um dispositivo fotovoltaico

Para otimizar a utilização dos módulos fotovoltaicos há que ter em consideração quer o local e quer o posicionamento dos painéis. Vamos

### 2.7.1 Local para instalação de um dispositivo fotovoltaico

A potência fornecida por um módulo fotovoltaico com uma determinada eficiência, depende como é evidente, da potência recebida, ou seja da irradiância no local, num dado instante. É conveniente conhecer a insolação típica da região onde se pretende implementar o sistema. Para tal, é importante conhecer a energia solar total média recebida num ano numa dada região (ver figura 2.66), tratando-se de um dado essencial ao bom dimensionamento de um sistema fotovoltaico.

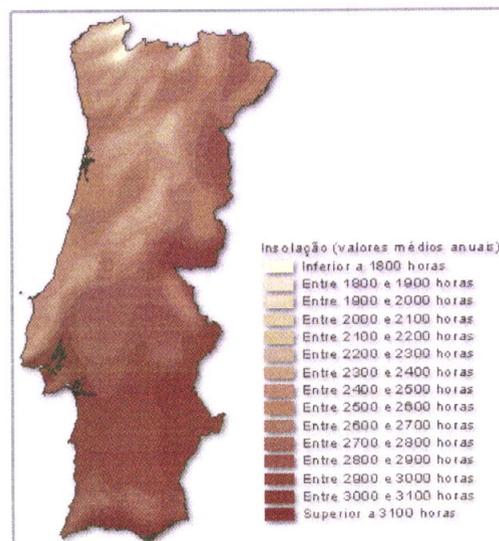


Figura 2.66 – Mapa da insolação solar em Portugal. Valores Médios Anuais (horas), no período 1931-1960, extraído de [18]

Sempre que possível, como o caso da instalação de uma central fotovoltaica, deverá ser tida em consideração a insolação para a escolha do local. Uma insolação elevada contribuirá para uma maior viabilidade do projecto, na medida em que a potência fornecida será superior, diminuindo o custo por Wp.

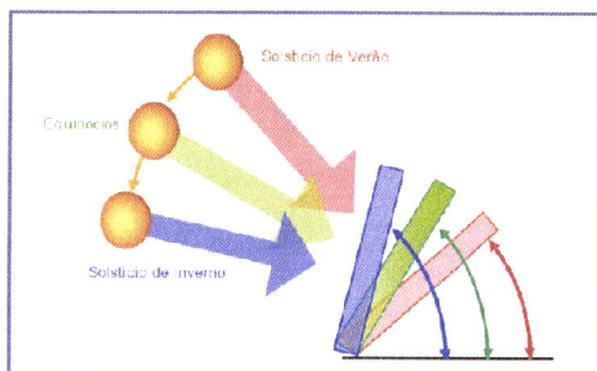
Num dado local, os módulos devem ser colocados de modo a que neles incida o máximo de radiação solar e de forma a não ficarem sobre a sombra de outros objectos. Deve verificar-se, deste modo, se os objectos envolventes projectam sombra sobre os painéis no período de maior irradiância (geralmente das 9 às 17 horas) no dia mais curto do ano, ou seja, quando o sol efectua a sua trajectória a menor altura, sendo consequentemente as sombras máximas.

Outro factor que determina o bom funcionamento de um dispositivo fotovoltaico, é a temperatura, uma vez que, o seu aumento provoca uma diminuição da eficiência do dispositivo fotovoltaico. A eficiência de uma célula de silício é de cerca de 12% a 25 °C e, por exemplo, para uma temperatura de 200 °C cai para 5%, pelo que, em alguns casos pode

justificar-se a associação de um sistema de arrefecimento para garantir o melhor funcionamento das células.

### 2.7.2 Posicionamento dos painéis fotovoltaicos numa instalação

Como a direcção da radiação incidente varia com diversos factores (latitude, hora do dia, dia do ano), a inclinação e a orientação do módulo deverão ser escolhidas de forma a diminuir o ângulo entre os raios solares e a normal relativamente à superfície da célula. A figura 2.67 mostra a inclinação adequada para cada estação do ano, para um determinado local com uma latitude semelhante à do nosso país.



**Figura 2.67 - Representação das inclinações dos módulos que optimizam a captação de radiação incidente para diferentes alturas do ano, extraído de INETI (2006)**

Os painéis podem ser montados sobre suportes móveis de forma a acompanharem a direcção da incidência da radiação solar. Quando fixos devem ser orientados para Sul no Hemisfério Norte (ou Norte, no Hemisfério Sul) e com uma inclinação de aproximadamente 90% da latitude do lugar. Se existir um período sazonal que se pretenda privilegiar, deve fazer-se com que a radiação incida mais perpendicularmente sobre o painel nessa época do ano. Se quisermos obter mais energia do sistema no Inverno devemos colocá-lo com uma inclinação maior (latitude do lugar + 15°) e caso seja no Verão, com uma inclinação menor (latitude do lugar - 15°). Um desvio de 30° relativamente ao grau de incidência ideal implica uma perda de energia fornecida de cerca de 10% [17].

Em alguns casos os módulos podem ser colocados numa posição próxima da ideal, como acontece quando colocados em terrenos ou em alguns telhados, mas no caso da colocação em fachadas, é de esperar uma potência fornecida inferior.

A figura 2.68 mostra a quantidade de energia fornecida, em diferentes planos, considerando o máximo de energia para a situação na qual o módulo se encontra com a inclinação ideal para a respectiva latitude. Por exemplo, para uma fachada vertical virada a Sul recebe apenas 70% da irradiância. Os dados utilizados são típicos para uma localização na Europa.

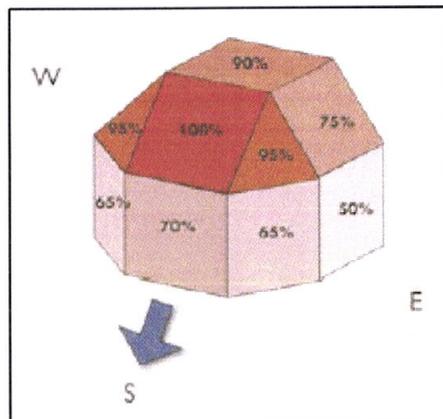


Figura 2.68 - Irradiância solar sobre planos correspondentes a telhados e diferentes fachadas, extraído de [2]

### 2.7.3 Integração dos módulos fotovoltaicos: BIPV (*Building integrated PhotoVoltaic*)

Quando um painel é instalado após a construção de um edifício, geralmente é colocado sobre o telhado e na posição que se julga a mais vantajosa ou simplesmente a melhor possível dadas condições, mesmo que não a ideal. A estética do edifício é alterada, tornando-se uma desvantagem da utilização da energia solar (quer seja fotovoltaica quer térmica), uma vez que não há uma verdadeira integração dos painéis nos edifícios.

Na situação em que um edifício é projectado tendo em conta a sua instalação, os resultados podem ser bastante surpreendentes, pelo que, a utilização da energia solar pode ser considerada uma mais valia do ponto de vista arquitectónico, para além do ponto de vista económico e ambiental.

Os módulos integrados na arquitectura dos edifícios (*Building integrated PhotoVoltaic* ou BIPV) permitem reduzir os gastos em electricidade, podendo substituir alguns materiais de construção e evitar eventualmente a ocupação de grandes áreas de terrenos. Os sistemas BIPV constituem geralmente sistemas ligados à rede. A sua integração é feita de múltiplas formas, em telhados ou fachadas, podendo os módulos fotovoltaicos ser transparentes (figura 2.69), semitransparentes (figura 2.70) ou opacos.

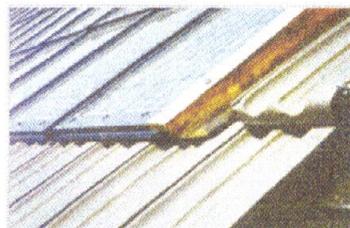
Na figura 2.70, vê-se a integração de elementos fotovoltaicos numa cobertura de entrada de luz. Os módulos são fabricados com uma fina película escura e com um ligeiro espaço entre células de modo a permitir a passagem de alguma luz solar directa, em complemento à luz solar que provém da parte da cobertura virada a Norte; a seguir, a figura 2.71, mostra telhas fotovoltaicas de sílico, que podem ser integradas directamente no telhado, substituindo as convencionais; por fim, mostra-se uma barreira de som construída com painéis fotovoltaicos (figura 2.72).



**Figura 2.69 - Célula fotovoltaica transparente, extraída de [20].**



**Figura 2.70 - Cobertura utilizando células semitransparentes, extraída de [19]**



**Figura 2.71 - "Telhas fotovoltaicas", extraída de [19]**



**Figura 2.72 - Barreira de som com painéis fotovoltaicos, extraído de [19]**

A integração dos dispositivos fotovoltaicos em edifícios é uma vertente de investigação de grande interesse. Grandes quantidades de células fotovoltaicas podem ser introduzidas em materiais comuns como o plástico transparente ou o vidro, permitindo utilizações muito variadas e de grande interesse estético e prático.

As figuras 2.73 e 2.74 mostram edifícios onde se pode apreciar o efeito da utilização de células semitransparentes em entradas de luz.

A investigação em torno de novos materiais tem sido uma constante e a produção de energia eléctrica solar através da integração de materiais fotovoltaicos nos edifícios revela o seu grande potencial e dá provas, do grande engenho humano.



**Figura 2.73 - Integração de painéis fotovoltaicos numa cobertura, extraída de [4]**



**Figura 2.74 - Integração de 300m<sup>2</sup> de painéis fotovoltaicos na fachada da Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró, Catalunha, extraída de Oliveira (2000)**



### **Capítulo 3 –PROBLEMÁTICA E METODOLOGIA**

Algumas das actividades presentes no programa de Física do 10.º ano de escolaridade surgem pela primeira vez nos currículos nacionais, exigindo aos professores as iniciativas necessárias para as implementar com sucesso em sala de aula...

Na história de Feynman (capítulo 1, página 2), vimos como o seu pai costumava construir consigo ideias de grande vitalidade. Esta é a tarefa do professor, a de permitir que os alunos se espantem com a beleza das coisas e se questionem, apontando caminhos, os mais ricos, no sentido do saber. O professor tem esse papel através do currículo que desenha e implementa na sala de aula e como tradutor daquilo que o currículo prescrito incorpora. Se, por um lado, as questões que se vão colocando ao longo de qualquer processo de ensino e aprendizagem são relevantes, por outro, o caminho delineado para se alcançarem as respostas deve ser, tal como o próprio conhecimento que se constrói, enriquecedor. Este caminho a percorrer pelo aluno, do qual dependerá a sua aprendizagem, deverá ajudá-lo a desenvolver um sentido do valor do conhecimento na sua relação com o mundo.

Introduzir o tema da energia solar fotovoltaica no currículo do ensino secundário, é por um lado, essencial para que esta tecnologia se imponha e, por outro, o abrir de um mundo de possibilidades, quer pelos autores dos programas na forma como o traduzem, quer por cada professor, na sua tarefa de construtor das suas práticas, que influenciarão a qualidade das aprendizagens dos alunos.

Neste capítulo, começaremos por dar uma visão mais alargada do trabalho desenvolvido, descrevendo a metodologia utilizada e o caminho por nós delineado. Analisaremos a actividade experimental designada por AL 1.2 do programa da disciplina de Física e Química A do 10.º ano de escolaridade, que veicula a introdução do tema "Energia solar fotovoltaica" no currículo e que é objecto do nosso estudo.



### **3.1 Métodos e fases do estudo**

#### **3.1.1 Tipo de metodologia utilizada no estudo**

O estudo que aqui desenvolvemos parte de um trabalho elaborado no âmbito da disciplina de Física Experimental da componente lectiva do Mestrado de Física para o Ensino (Costa, 2003), que se iniciou com a realização da actividade experimental AL 1.2 numa aula laboratorial da referida disciplina. Foram-nos colocados à disposição as orientações do programa e o material aí referido como necessário à sua concretização. Na realização integral da actividade, surgiram várias questões que foram sendo, em geral, ultrapassadas mas que deixavam antever algumas dificuldades na sua preparação e implementação em sala de aula. Ao longo do trabalho desenvolvido fomos ganhando consciência, quer do valor pedagógico da actividade, quer da complexidade associada ao estudo experimental da resposta dos dispositivos fotovoltaicos aos diferentes factores que o programa solicita, devido à interdependência destes e o exigente trabalho de controlo das variáveis implicado.

O interesse na actividade experimental AL 1.2 suscitado nesta primeira abordagem trouxe-nos ao presente trabalho e os problemas que considerámos existirem, justificam que a nossa atenção não recaia numa primeira instância no aluno e suas aprendizagens, mas na referida actividade.

Este trabalho nasceu da necessidade que considerámos existir de reformular a actividade, devido a diversas questões das quais referimos a título de exemplo duas, de rigor científico e concepção, respectivamente:

- 1) A questão-problema que o programa sugere, trata um sistema fotovoltaico isolado instalado numa habitação como se o funcionamento do gerador fotovoltaico estivesse dependente da resistência dos equipamentos eléctricos no interior da habitação, o que não acontece na realidade;
- 2) A questão-problema questiona os alunos acerca da melhor forma de instalar um painel fotovoltaico numa habitação, mas esta questão não apela ao estudo de algumas variáveis que surge referenciadas nos procedimentos experimentais que o programa explicita.

As questões referidas anteriormente extraem-se directamente de uma leitura atenta das linhas orientadoras do programa de FQ A relativas à referida actividade e cuja transcrição se encontra no anexo I (página 263).

O estudo realizado da actividade AL 1.2 que no presente capítulo apresentamos deu origem a um questionamento a partir do qual elaborámos a problemática desta investigação. O problema que formulámos foi traduzido na seguinte questão: ***"Que alterações introduzir na actividade AL 1.2 de forma a que ofereça rigor científico, que o contexto gere a actividade e que seja, ela própria, geradora de conhecimento físico, cumprindo as intenções do programa?"***

Esta questão funcionou como a nossa questão-problema para a qual procurámos obter uma solução, sempre orientados por esta questão e numa perspectiva da educação científica em que o espaço à imaginação na resolução de problemas ocupa um lugar importante e apoiados no estudo bibliográfico que considerámos relevante para os nossos objectivos. Fomos assim, construindo a nossa proposta que incorporou muito tempo no seu amadurecimento e no seu desenvolvimento até chegarmos a uma ideia que do nosso ponto de vista poderia constituir-se como um contexto adequado ao desenvolvimento da actividade: **uma corrida de carros movidos através de energia produzida por efeito fotovoltaico**. Para que esta ideia incorporasse a necessidade de compreensão do funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos tivemos de imaginar formas de introduzir dificuldades na actividade que exigissem a procura desse conhecimento. Estes aspectos levaram-nos a equacionar a importância de culminar com uma proposta para o professor que se aproxima do Trabalho de Projecto incorporando vários aspectos do Trabalho Experimental. Isto é, elaboramos o que podemos designar de projecto intenção que o professor poderá implementar em sala de aula.

O Trabalho de Projecto desenvolvido foi denominado "Em pista...ligado ao Sol" e é visto como a proposta de valorização da AL 1.2, apresentando relativamente a esta alguma descontinuidade, na medida em que encerra um novo contexto e conseqüentemente uma nova questão-problema para os alunos: ***"Como melhorar o desempenho do carro solar fotovoltaico e quais as condições da pista mais favoráveis para ganhar a corrida?"***.

O estudo da actividade AL 1.2 pode identificar-se neste trabalho como um pré-projecto, do qual resultou o tema e a questão a tratar. A implementação do projecto intenção do professor deu então origem aos projectos dos alunos, que se desenrolaram no sentido de dar resposta à questão-problema referida anteriormente.

As considerações que tecemos em torno da actividade experimental AL 1.2 surgiram do percurso vivenciado, quer da concretização da actividade experimental, quer da investigação da literatura, científica e pedagógica. Com base nos saberes aqui adquiridos e na revisão da literatura realizada sobre Trabalho Experimental e de Projecto, fomos elaborando o nosso produto, o projecto "Em pista... ligado ao Sol".

As várias decisões que determinaram o nosso percurso foram tomadas no sentido de concretizar a ideia original (a corrida de carros fotovoltaicos) e cumprir o objectivo de encontrar uma resposta à nossa questão levantada, contornando os constrangimentos que nos foram surgindo. A concepção e selecção dos materiais experimentais revelou-se uma etapa fundamental, como veremos, na evolução da ideia inicial, porque obrigou a inúmeras decisões, que nos foram vinculando àquilo que corresponde à actividade final (projecto intenção do professor) e que descreveremos no capítulo 5.

### **3.1.2 Fases do estudo**

O trabalho realizado comporta duas componentes, uma de pesquisa de informação de sistematização da mesma e de construção de conhecimento, e outra de aplicação dos conhecimentos e concretização de ideias e materiais. Estas duas vias são indissociáveis, uma vez que o trabalho de concretização reflecte as leituras feitas e estas surgem em função das necessidades sentidas na prática, constituindo estas duas componentes uma espécie de "círculo criativo".

Após a realização da actividade em estudo e com base na pesquisa bibliográfica sobre o tema, analisámos as abordagens à actividade nos manuais escolares de forma a comparar a leitura que fazemos das orientações curriculares com a dos autores dos Manuais. Apresentamos a problemática que consideramos existir relativamente à AL 1.2 e algumas

sugestões para a sua implementação. Posteriormente apresenta-se o processo de concepção e de implementação da proposta de valorização da actividade AL 1.2: o projecto "Em pista... ligado ao Sol". Incluímos algumas considerações teóricas que fundamentam as opções realizadas no percurso por nós tomado, nomeadamente, sobre Trabalho de Projecto e revela-se o interesse no instrumento de avaliação e de suporte à implementação do projecto, o *logbook*.

De forma a não desvalorizar o percurso descrito face ao produto obtido, o projecto "Em pista... ligado ao Sol", iremos debruçar-nos sobre as várias etapas vivenciadas, desde o surgimento da problemática com o estudo da actividade AL 1.2 à concepção e implementação do projecto, referindo os materiais concebidos em cada uma delas.

Para descrever as etapas deste trabalho, podemos começar por distinguir duas fases distintas: a primeira inclui o estudo da actividade AL 1.2, que introduz a problemática e que integra o presente capítulo e uma segunda parte, a concepção e implementação do projecto "Em pista... ligado ao Sol", que constitui o capítulo 5.

A seguir apresentamos uma sistematização dos materiais elaborados em cada etapa percorrida ao longo do trabalho desenvolvido e o que motivou a realização de cada etapa. Os materiais que se destacam pretendem ter utilidade para quem implemente a actividade, quer na forma como o programa a propõe (com as alterações que consideramos prementes) quer na forma da actividade que aqui se apresenta como alternativa, o projecto "Em pista... ligado ao Sol".

As fases de estudo definidas serão apresentadas numa sequência, que respeita dentro do possível a ordem cronológica, apesar de como já referimos a construção das ideias se fez de forma cíclica, em que se recorre repetidas vezes à pesquisa da literatura científica ou pedagógica, voltando ao Trabalho Experimental ou de concretização das ideias. Podemos fazer comparar este trajecto a uma espiral, se tivermos em consideração que as ideias vão evoluindo ao longo do tempo e que sempre que se retoma uma das componentes, teórica ou experimental, já nos encontramos num estágio diferente da construção das ideias. A figura 3.1 pretende representar este trajecto, considerando a espiral contida num referencial tridimensional, onde a seta representa o eixo temporal, que parte da actividade AL 1.2 no

sentido do projecto que propomos, sendo este sentido determinado pela questão-problema por nós formulada. Cada parte do esquema pretende representar a projecção deste percurso em dois planos distintos: por um lado a imagem do percurso cíclico entre a componente teórica e à prática e, por outro lado, num plano perpendicular, a imagem da oscilação entre o idealizado e o concretizável, com base nos objectivos estipulados.

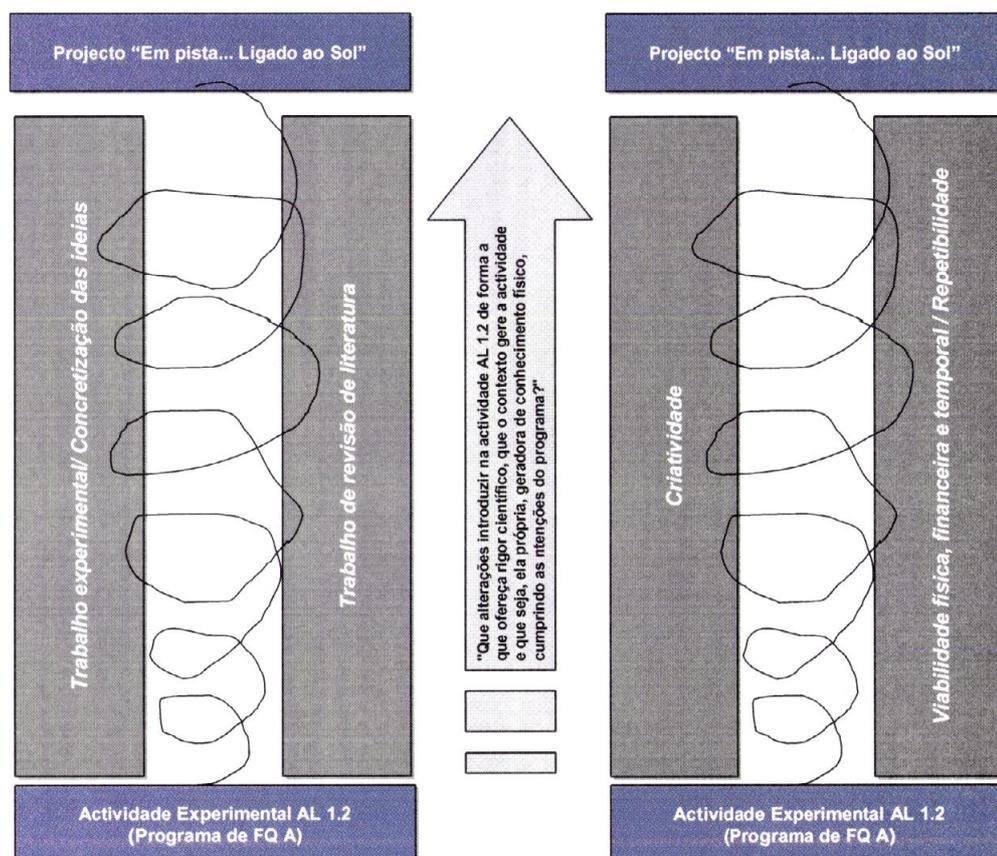


Figura 3.1 - Esquema ilustrativo do percurso realizado na construção da proposta apresentada

### 1.ª Parte: Etapas relativas ao estudo da actividade AL 1.2: Pré-projecto do professor

#### i) Leitura das orientações curriculares

Motivação:

- A existência de um novo programa;
- A implementação da actividade experimental AL 1.2.

Ponto de partida:

- Programa de FQ 10.º ano.

Materiais resultantes:

- A análise do programa, no que diz respeito às perspectivas manifestas nas intenções que aí constam e as inerentes à actividade em estudo.

## **ii) Estudo teórico sobre o funcionamento dos dispositivos FV**

Motivação:

- Elaborar um texto que possa ser uma base de trabalho no contexto da actividade em estudo, uma vez que algumas abordagens à actividade analisadas apresentam pouco rigor científico e a informação sobre o tema "Energia Solar fornecida por um painel fotovoltaico" surge dispersa, com diferentes níveis de aprofundamento e de rigor.

Ponto de partida:

- Bibliografia especializada;
- Estudo da actividade AL 1.2.

Materiais resultantes:

- Texto sobre o papel da tecnologia fotovoltaica e a física associada que apresenta a informação que julgamos relevante para quem aborde o tema (capítulo 2).

## **iii) Realização e reanálise da actividade AL 1.2**

Motivação:

- Percepção do interesse da actividade AL 1.2 e das inconsistências encontradas nas abordagens analisadas.

Ponto de partida:

- Trabalho realizado sobre a referida actividade (Costa, 2003);
- Programa de FQ A para o 10.º ano;
- Manuais escolares;
- Conhecimentos sobre funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos.

Materiais resultantes:

- Apresentação e fundamentação das inconsistências da actividade AL 1.2 que considerámos existirem;
- Análise da actividade AL 1.2 do programa de FQ A e de alguns Manuais (Capítulo 3 e anexo II).

## **iv) Sugestões para a implementação da AL 1.2**

Motivação:

- Reunir a informação de interesse para quem pretenda implementar a referida actividade.

Ponto de partida:

---

- Resultados experimentais obtidos na realização da actividade AL 1.2;
- Análise da actividade AL 1.2.

**Materiais resultantes:**

- Sugestões para a implementação da actividade: considerações acerca do material a escolher e estratégias de sala de aula;
- Guião do aluno para a AL 1.2 (anexo V), utilizando nova questão-problema de acordo com o ponto 4.4.2 da página 162;
- Simulação de custos e áreas para um sistema fotovoltaico.

**2.ª Parte: Etapas relativas à concepção do projecto “Em pista... ligado ao sol”: Projecto do professor**

**i) A ideia inicial e projecto intenção do professor**

**Motivação:**

- Alterar a actividade AL1.2 no sentido de um maior rigor científico e coerência;

**Ponto de partida:**

- O estudo sobre a AL 1.2;
- A ideia inicial e o objectivo de encontrar uma resposta à nossa questão-problema.

**Materiais resultantes:**

- Reformulação da questão-problema e contexto sugeridos no programa de FQ A;
- Descrição fundamentada dos materiais adoptados;

**ii) Materiais de apoio à implementação do projecto**

**Motivação**

- Necessidade de orientar e avaliar os alunos;
- Apresentar a proposta do projecto intenção.

**Ponto de partida**

- O estudo da actividade AL 1.2;
- O projecto intenção em concepção.

**Materiais resultantes**

- Elaboração de um *logbook*;
- Guião do professor.

### iii) Implementação do projecto

#### Motivação

-Recolher elementos de reorientação e de enriquecimento do projecto em construção.

#### Ponto de partida

-Projecto intenção do professor.

#### Materiais resultantes

- Registos dos alunos no *logbook*;
- Registos fotográficos das actividades “*hands-on*”;
- Descrição das actividades desenvolvidas no projecto-acção e de algumas evidências extraídas no campo.

Após uma visita às principais fases deste estudo retomaremos o ponto inicial com a leitura das orientações curriculares, onde procurámos compreender qual o papel reservado à actividade experimental AL 1.2 no currículo.

## 3.2 As células fotovoltaicas no currículo

Como já referimos, o estudo da energia solar fotovoltaica surge pela primeira vez no programa da disciplina de FQ A e é introduzido através da proposta de realização de uma actividade experimental, com carácter obrigatório e na qual se pretende “que os alunos façam o estudo das condições de rendimento máximo de um painel fotovoltaico” (Caldeira, 2001). Deste modo, após algumas considerações teóricas sobre Trabalho Experimental iremos analisar as concepções veiculadas no programa de Física e Química A acerca do Trabalho Experimental e as perspectivas de ensino e aprendizagem subjacentes.

### 3.2.1 O currículo de sala de aula e o programa de FQ A

As práticas de gestão do currículo desenvolvidas pelos professores são influenciadas por diversos factores, nomeadamente, as suas concepções de ensino, factores pessoais e de formação profissional. Freire & Sanches identificam algumas concepções de ensino dos professores de Física do ensino secundário com a intenção de contribuir para a

compreensão das teorias pessoais dos professores e das suas práticas, destacando cinco características (citado em Lopes (2004)):

- i) A dominante das estratégias é para motivar os alunos;
- ii) Satisfazer os requisitos do “programa” de Física;
- iii) Procurar um equilíbrio entre os diferentes conteúdos requeridos pelas orientações curriculares;
- iv) Satisfazer o critério de eficiência: economia de tempo;
- v) Adaptar-se aos recursos materiais disponíveis e à estrutura organizacional.

Através deste estudo é possível perceber que as práticas são, segundo os professores, condicionadas pela instituição escola e pelas orientações curriculares. Consta-se que o programa não funciona apenas como um ponto de referência, mas que funciona como um constrangimento às práticas desenvolvidas. Isto deriva da importância que os professores atribuem ao cumprimento do programa, ao seguimento dos conteúdos aí considerados, bem como a outros requisitos deste. A preocupação do professor ao desenhar o currículo de Física na sala de aula, não recai, deste modo, prioritariamente na aprendizagem dos alunos, mas sobretudo no que é ensinado e na sua proximidade com o estabelecido no programa.

A existência desta sobrevalorização, por parte dos professores, do que consta no programa, leva-nos a apresentar uma análise fundamentada da actividade laboratorial AL 1.2 tal como aí é descrita e da sua integração no currículo. Pretende-se motivar os professores a adquirirem postura reflexiva e crítica sobre o programa, assumindo o papel de “consumidores” esclarecidos deste.

Esta análise levou ao estabelecimento de um novo plano de abordagem à actividade, de forma a atribuir-lhe maior coerência, pretendendo privilegiar sobretudo a aprendizagem dos alunos, cumprindo os objectivos propostos no programa para a actividade. As sugestões de abordagem à referida actividade encontram-se no capítulo seguinte (capítulo 4).

### 3.2.2 Perspectivas sobre Trabalho Experimental

Começaremos por abordar brevemente algumas perspectivas sobre Trabalho Experimental que foram surgindo nas últimas décadas e que têm vindo a influenciar as práticas lectivas.

Antes de mais convém clarificar o significado atribuído a cada uma das expressões “Trabalho Experimental”, “Trabalho Laboratorial”, “Trabalho Prático” e “Trabalho de Campo”.

As autoras do programa adoptam as seguintes definições (Caldeira, 2001):

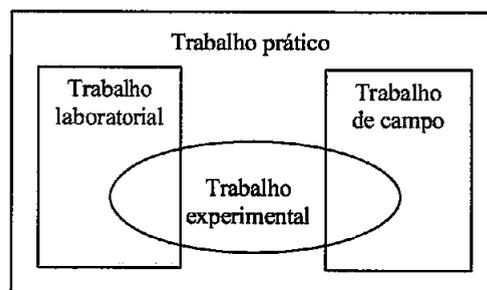
- Trabalho ou Actividade Prática (AP), diz respeito a tarefas realizadas pelos alunos manipulando recursos e materiais diversificados, dentro ou fora da sala de aula (por exemplo, numa saída de campo);
- Trabalho ou Actividade Laboratorial (AL) é o trabalho prático realizado em laboratório, individualmente ou em grupo;
- Trabalho Experimental (TE) é todo o trabalho prático que envolva manipulação de variáveis, seja na forma de experiência guiada seja em formato investigativo.

Os critérios que permitem distinguir estas actividades, tal como a seguir se definem, são o local e a necessidade de controlo de variáveis. O Trabalho Experimental pode ser ou não do tipo laboratorial e o Trabalho Laboratorial pode ser ou não do tipo experimental.

As relações entre os vários tipos de trabalho surgem ilustradas pelo esquema da figura 3.2.

Acrescenta-se a noção de trabalho de campo segundo Leite (2000), uma vez que este não surge definido pelas autoras do programa:

"Trabalho de campo é realizado ao ar livre, onde, geralmente os acontecimentos ocorrem naturalmente".



**Figura 3.2 – Relação entre trabalho prático, laboratorial, experimental e de campo, extraído de Leite (2000)**

A investigação em didáctica das ciências tem permitido compreender os processos de aprendizagem, relevando o papel do aluno na construção do seu conhecimento e permitindo a evolução das práticas pedagógicas, num processo dinâmico face às exigências que se impõem. O trabalho prático e experimental parece ter um papel de indiscutível importância no ensino das ciências e sendo a Física uma ciência essencialmente experimental, a sua aprendizagem deverá incluir inevitavelmente as finalidades do domínio cognitivo e prático associadas ao Trabalho Experimental/ Laboratorial.

Segundo Lunetta (1991) há razões para acreditar que as actividades laboratoriais/práticas são importantes para promover a compreensão de certos aspectos da natureza da ciência, o desenvolvimento intelectual e conceptual e o desenvolvimento de atitudes positivas para com a ciência.

Apesar da importância que é atribuída ao Trabalho Experimental, as práticas ainda lhe reservam um espaço limitado. Cachapuz, Praia e Jorge (2002) enumeram alguns pontos críticos associados à Ciência escolar que predomina nas escolas e à qual associam o desinteresse de grande número de alunos pelo estudo das Ciências. Entre os pontos críticos, salienta-se a existência de um ensino “não experimental” e onde “o carácter transmissivo asfixia o investigativo”. Apontam ainda, a “desvalorização das articulações essenciais CTSA ou ainda Ciência/Ética que ajudam a situar culturalmente a Ciência no quadro de uma educação para uma cidadania responsável.

Segundo estes autores, os currículos e as práticas docentes deveriam evoluir no sentido de uma contextualização crescente e do aumento da dimensão experimental, como ilustra o esquema da figura 3.3, onde a terceira dimensão atribuída à ciência deverá assumir características que se afastam de uma visão positivista da ciência.

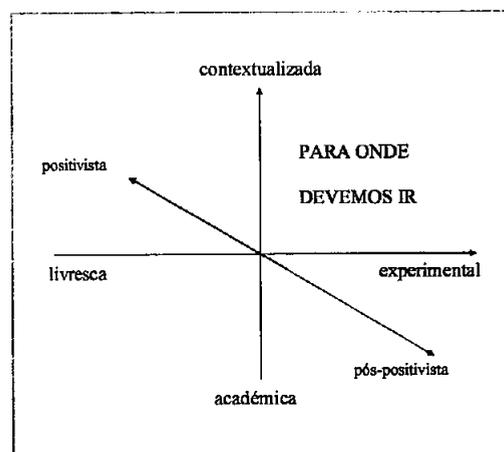


Figura 3.3 – Três dimensões da Ciência escolar, extraído de Cachapuz, Praia e Jorge (2002)

Nas práticas habituais de Trabalho Experimental, a tendência é para que sejam reduzidas as oportunidades para que os alunos se envolvam na exploração e manipulação de ideias, centrando-se as actividades na execução de "receitas" fornecidas pelo professor que, por vezes, se revelam improdutivas e até confusas, promovendo um número reduzido de competências. Considera-se existir uma insuficiente utilização do Trabalho Experimental nas aulas de ciências, sendo que, estas ocorrem tendencialmente sob a forma de demonstrações e verificações experimentais. (Almeida, 2000).

Nas actividades de demonstração o aluno observa e relata o que observa, sendo-lhe eventualmente solicitada uma explicação. Já nas actividades de verificação os alunos têm a oportunidade de executar o protocolo experimental que contém habitualmente todas as informações que necessita, desde as várias fases do trabalho, variáveis a ter em conta e os dados a recolher, apelando-se essencialmente às suas capacidades manipulativas e processuais. Procurando retirar a tónica do professor, que surge como principal actor na concepção destas actividades, surgiram as actividades ditas por descoberta, em que o aluno tem o protagonismo. Nestas actividades pretendia-se que os alunos adoptassem um papel semelhante ao de um cientista na procura de evidências de relações e leis, retiradas por meio de aparatos experimentais, devidamente antecipados e disponibilizados, que orientam e condicionam as estratégias.

Mais centrados nos conteúdos ou nos processos, os vários tipos de actividades referidas reduzem geralmente o papel do aluno a um mero observador ou executante de uma receita ou de um percurso único para um fim antecipado e promovido. Isto é feito, quer directa ou indirectamente, através de um protocolo (mais aberto ou mais fechado) ou dos materiais disponibilizados. O conteúdo problemático que o Trabalho Experimental pode possuir é, desta forma, reduzido ou eliminado.

Por outro lado e segundo Lopes (2004), o Trabalho Experimental surge tendencialmente, ora antes ora depois, de estudados os assuntos que os suportam do ponto de vista teórico, ou seja, como uma actividade de ensino com bastante independência em relação às restantes, incorporando um papel de motivação ou mera verificação. Sugere-se assim, que o Trabalho Experimental surja articulado com a aprendizagem conceptual e com outras actividades de ensino, surgindo igualmente como a resolução de um problema relevante

para os alunos. O trabalho laboratorial concebido como uma actividade de natureza investigativa, que envolve a resolução de problemas, permite traduzir melhor a interrelação entre os conteúdos e os processos do trabalho científico, bem como a criação de situações de aprendizagem significativa.

Vejamos como o novo programa de Físico-Química A se relaciona com os pontos designados como críticos e anteriormente mencionados e que traduzem algumas tendências das práticas no ensino das ciências.

### **3.2.3 Perspectivas manifestas nas intenções e as inerentes à proposta curricular**

Iremos analisar quais as perspectivas de Trabalho Experimental que surgem na componente de Física do programa de FQ A, quer do ponto de vista das intenções manifestas quer das que surgem traduzidas pelas actividades propostas, com particular enfoque, na actividade em estudo, *"AL 1.2 - Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico"*.

Da leitura do novo programa de Física e Química A, criámos 5 itens que pensamos traduzirem satisfatoriamente as intenções aí manifestas.

Consideramos que o programa:

1. Estabelece um tempo próprio para a componente experimental;
2. Perspectiva o Trabalho Experimental como um trabalho de natureza investigativa;
3. Estrutura as actividades numa perspectiva de ensino contextualizado;
4. Remete para o enquadramento dos conceitos numa perspectiva CTSA;
5. Encara a componente prático-laboratorial como resposta à necessidade de elevar o nível de literacia científica.

Analisaremos cada um destes pontos com base nos fundamentos do programa e verificaremos de que forma se concretizam estas intenções.

A análise que aqui faremos relativamente às perspectivas inerentes ao programa de FQ A, não pretende ser exaustiva, contemplando todas as actividades práticas, mas debruçar-nos essencialmente sobre a actividade em estudo neste trabalho, procurando compreender até que ponto reflecte as perspectivas manifestas nas intenções.

O tema que está associado à actividade experimental AL 1.2 e sobre a qual recai o nosso estudo - a “Energia Solar Fotovoltaica” - apesar de ter uma pequena extensão no programa insere-se inteiramente no grande tema desta componente que trata a Lei da Conservação da Energia numa perspectiva de educação ambiental e que, segundo o programa, se organiza em torno de duas ideias fundamentais – a conservação e a degradação da energia.

A unidade onde se insere o tema designa-se “Energia – do Sol para a Terra” e tem os seguintes objectos de estudo (Caldeira, 2001):

I) Balanço energético da Terra

I.1) Emissão e absorção de radiação. Lei de Stefan – Boltzmann. Deslocamento de Wien

I.2) Sistema termodinâmico

I.3) Equilíbrio térmico. Lei Zero da Termodinâmica

II) A radiação solar na produção da energia eléctrica – painel fotovoltaico

A importância do tema aí introduzido é justificada da seguinte forma (Caldeira, 2001):

A utilização de energia solar, de extrema importância na sociedade actual, nomeadamente, é estudada em colectores solares (para o aquecimento) e em painéis fotovoltaicos (para produzir energia eléctrica). Por isso, e para salientar as diferenças entre estes dois processos propõe-se uma actividade laboratorial para estudo da produção de energia eléctrica a partir da radiação solar.

Nos “objectivos de aprendizagem” e nas “actividades práticas de sala de aula” que o programa define para cada unidade temática, não há nenhuma referência ao tema “Energia Solar Fotovoltaica” em particular, surgindo apenas e implicitamente como uma das tecnologias que deverão estar presentes quando se discutir a “Situação energética mundial”, objecto de estudo do “Módulo inicial – das fontes de energia ao utilizador”. Neste contexto,

o aluno deverá conhecer um pouco da tecnologia fotovoltaica, nomeadamente, algumas aplicações, potencialidades e limitações. Contudo, o programa não menciona quaisquer objectivos relativos ao tema, para além dos que surgem na descrição da actividade laboratorial "AL 1.2 - Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico" (ver anexo I). O programa reserva 16 aulas para esta unidade, sendo que 1,5 horas são destinadas à realização da referida actividade.

A análise das perspectivas inerentes à proposta curricular e das perspectivas manifestas nas intenções será feita com base nos 5 itens que considerámos (página 115).

### **1. O programa estabelece um tempo próprio para a componente experimental**

Em teoria, com a revisão curricular do ensino secundário assistiu-se à extinção das disciplinas de Técnicas Laboratoriais, tendo a disciplina de Físico-Química começado a incluir o trabalho laboratorial com um carácter obrigatório, usufruindo de tempos próprios, ou seja, de uma aula de 90 minutos por semana, o que corresponde a um terço das aulas leccionadas, tal como estabelecido no desenvolvimento curricular da disciplina de FQ A (Caldeira, 2001). A existência destes tempos para o trabalho laboratorial, integrados na disciplina de Físico-Química, permite uma maior integração das dimensões teórica e prática, atribuindo maior relevância ao trabalho de natureza experimental e ao seu papel na construção de conhecimento físico. Contribui ainda, para a diminuição dos constrangimentos sentidos pelos professores nas suas práticas: por um lado, o trabalho laboratorial com tempos reservados evita que a difícil gestão do tempo seja um constrangimento à sua implementação e, por outro, que o seu carácter obrigatório contribua para promover os meios necessários, quer em termos de espaços físicos e materiais, quer logísticos.

Na prática, e apesar de o programa reservar tempos próprios para as actividades de carácter laboratorial, consideramos que o tempo que o programa destina, especificamente para a actividade laboratorial AL 1.2 é reduzido, uma vez que, o tema "Energia solar fotovoltaica" é explorado apenas na actividade experimental, sendo-lhe reservada apenas uma aula de 1,5 h como já havíamos referido.

Compreende-se que os professores se possam sentir constrangidos pelo tempo, na planificação das suas práticas, uma vez que o tempo disponibilizado é insuficiente para uma concretização eficaz do tipo de trabalho experimental que o programa de FQ A perspectiva.

## **2. O programa perspectiva o Trabalho Experimental como um trabalho de natureza investigativa**

Para cada uma das actividades de laboratório da componente de Física do 10.º ano, o programa (Caldeira, 2001):

1) Propõe a título de exemplo, uma questão problema cuja resolução deve implicar atitudes de reflexão e questionamento, promovendo uma articulação entre o conhecimento conceptual e prático, através do estabelecimento de relações entre as actividades desenvolvidas e os fenómenos do quotidiano;

2) apresenta tópicos para o desenvolvimento das actividades, que se destinam a orientar o professor na preparação dos trabalhos a desenvolver pelos alunos, num contexto de investigação dirigida, não se advogando a execução sujeita a protocolos rígidos.  
(sublinhado e numeração nossos)

Aqui encontramos a intenção de que as actividades laboratoriais se concretizem a partir de uma questão-problema, que servirá de contexto e ponto de partida, que motivará a realização da actividade pelos alunos. Sugere-se um trabalho menos prescritivo, sem o espartilho de protocolos rígidos, e mais pensado, ou seja, perspectivado como um trabalho de natureza investigativa.

Neste tipo de trabalho de natureza investigativa recaem sobre o aluno as decisões de como proceder, o que medir e como, o que registar e a interpretação dos dados, delineando e redelineando o seu percurso investigativo na procura de uma possível resposta à questão-problema levantada. Segundo Cachapuz (2000) estas actividades contribuem para que este se familiarize com as características do trabalho científico, sendo potenciadoras do desenvolvimento da criatividade e de atitudes de interesse para com a aprendizagem.

Esta concepção de Trabalho Experimental poderá, segundo Almeida (1998)

(...) desempenhar um papel fundamental na educação em ciências, quer como um fim em si mesmo ao desenvolver capacidades de resolução de problemas e de investigação, quer como uma estratégia de ensino e de aprendizagem favorecendo a construção de significado dos conceitos teóricos e a compreensão da natureza do trabalho científico – aspectos relacionados com a aprendizagem da ciência e acerca da ciência e, ainda, como uma estratégia formativa de desenvolvimento de capacidades e talentos diversos, de ordem cognitiva, afectiva e social.

Encontramos nesta concepção de trabalho experimental de natureza investigativa as três grandes componentes da educação pensadas por Hodson (1992, 1996): aprender ciência – adquirindo e desenvolvendo conhecimentos teóricos e conceptuais; aprender sobre ciência – desenvolvendo uma compreensão acerca da natureza e métodos da ciência, bem como uma consciência das complexas interações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente; e fazer ciência – adquirindo e desenvolvendo capacidades investigativas e de resolução de problemas.

O programa remete para três tipos de competências a desenvolver pelos alunos através da preparação, realização e avaliação de actividades práticas: do tipo processual, do tipo conceptual e do tipo social, atitudinal e axiológico, o que pressupõe que as actividades práticas, tal como são sugeridas no programa, potenciam essas várias vertentes, que vão ao encontro das consideradas por Hodson.

Como vimos, o Trabalho Experimental que o programa perspectiva, deveria desenvolver-se a partir da respectiva questão problema, que motivaria o percurso a realizar pelo aluno, sem que o professor recorresse a protocolos rígidos e orientados que guiassem o aluno num dado percurso. Contudo, na actividade em estudo, como veremos, para que se concretizem os objectivos definidos e se estudem as várias variáveis solicitadas no programa será necessário a existência de um protocolo com instruções “rígidas” ou dirigidas, que terão de funcionar como adenda à questão-problema inicial, de forma a que os alunos estudem algumas das variáveis que não têm qualquer relação com a questão-problema. O problema da questão inicial não gerar a actividade atenua-se quando esta passa a ser tratada como um

conjunto de procedimentos experimentais guiados por um protocolo. Contudo, isto altera a perspectiva de Trabalho Experimental que o programa sugere, deixando de ser uma actividade de natureza investigativa.

Por outro lado e como já referimos, existe ainda uma incompatibilidade entre o tempo disponibilizado para a realização da actividade, que se revela complexa, com a intenção que ela se desenvolva na forma de investigação.

Em conclusão, a estrutura da actividade laboratorial é a esperada, mas a questão-problema não funciona verdadeiramente como tal, na medida em que não se adequa aos procedimentos propostos e aos objectivos estabelecidos.

### **3. O programa estrutura as actividades numa perspectiva de ensino contextualizado**

A contextualização das actividades é fundamental para que estas adquiram significado para os alunos, o que por vezes pode não acontecer nas actividades de demonstração e verificação, caso os seus objectivos bem como a justificação da utilização de certos procedimentos, não sejam devidamente explicitados aos alunos. Nas actividades experimentais de investigação a questão-problema foca a atenção dos alunos e contextualiza a actividade. A forma como se estruturam todas as actividades laboratoriais do programa, que tomam como ponto de partida uma questão-problema traduzem a intenção de promover um ensino contextualizado das ciências. O programa apesar de sugerir uma questão-problema para cada actividade laboratorial, refere que “o professor poderá escolher outros exemplos mais de acordo com os interesses e necessidades dos seus alunos” (Caldeira, 2001). A escolha de um contexto adequado é fundamental para que a situação criada adquira significado para os alunos e valor pedagógico.

Como contexto entenda-se, por exemplo, um tema social relevante para o aluno, ou uma situação, fenómeno ou conjunto de tecnologias que fazem parte do seu quotidiano; é uma situação problema relevante para o aluno (Costa, 2001).

Encontra-se no programa a referência à importância na organização dos conteúdos:

A aprendizagem de conceitos e processos é de importância fundamental mas torna-se o ponto de chegada, não o ponto de partida. A ordem de apresentação dos conceitos passa a ser a da sua relevância e ligação com a situação-problema em discussão (Caldeira, 2001).

Aqui reforça-se a ideia da questão-problema que traduz o contexto e é o ponto de partida que desencadeia os processos e a aprendizagem dos conceitos. Esta descrição vai ao encontro do que nos diz Costa (2001) acerca da aprendizagem contextualizada e a organização dos conteúdos no ensino contextualizado:

“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”

O contexto surge antes dos conteúdos para que este permita conduzir os alunos no seu percurso de aprendizagem. É partindo do contexto que, quer os conceitos quer as ideias, são abordados e na sequência que o percurso tomado o exigir.

No caso concreto da actividade experimental AL 1.2, a utilização de dispositivos fotovoltaicos, que fazem ou podem fazer parte do quotidiano dos alunos, funciona por si só como contexto. A adaptação a uma situação mais próxima da realidade dos alunos deve ser tida em atenção no sentido de facilitar o processo de apropriação da situação problema.

Na prática, a questão-problema, que traduz o contexto, surge no início do estudo, como esperado numa situação de ensino contextualizado, mas não motiva todo o percurso esperado, o que lhe retira parte do seu valor contextual.

Por outro lado, se reconhecermos que a questão problema adquire essencialmente a forma de uma aplicação que facilita a interpretação dos resultados experimentais, estamos a

admitir que esta no fundo não surge antes dos conteúdos, como ponto de partida, motivando a sua aprendizagem, mas depois, como acontece no ensino não contextualizado.

#### **4. O programa remete para o enquadramento dos conceitos numa perspectiva CTSA**

O programa pretende seguir uma perspectiva CTSA com uma abordagem problemática, na qual se utilizam grandes temas-problema da actualidade como contextos relevantes, para o desenvolvimento e aprofundamento dos conceitos (Caldeira, 2001), que incluem:

- 1) Conteúdos científicos permeados de valores e princípios;
- 2) Relações entre experiências educacionais e experiências de vida;
- 3) Combinação de actividades de formatos variados;
- 4) Envolvimento activo dos alunos na busca de informação;
- 5) Recursos exteriores à escola (por exemplo, visitas de estudo devidamente preparadas);
- 6) Temas actuais com valor social, nomeadamente problemas globais que preocupam a humanidade.

As situações-problema deverão pertencer ao quotidiano dos alunos, mas com uma luz nova sobre esse quotidiano, e servirão como ponto de partida para o processo de ensino-aprendizagem, permitindo a compreensão das inter-relações ciência-tecnologia-sociedade-ambiente. Segundo Stinner, citado em Lopes (2004), para que o aluno melhor se aproprie do problema que serve de contexto à aprendizagem, este deve emergir de uma realidade que lhe seja próxima e que permita estabelecer relações entre os vértices Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA):

“O ensino deve ser feito a partir de um contexto amplo apropriado, onde as questões e os problemas possam surgir com naturalidade para os alunos. Os problemas devem emergir de um contexto de exploração e discussão de situações físicas trazidas do meio e com relevância CTSA. Desta forma criam-se condições para que os problemas sejam apropriados pelos alunos, pois encaram-nos como importantes para a sua aprendizagem e para a construção da sua cidadania.” (sublinhado nosso)

Segundo Lopes (2004) uma "forma suprema de encarar a base contextual é promover a aprendizagem da física com base num tema do interesse dos alunos, pertinente do ponto de vista CTS, no qual todos os temas programáticos são abordados, mas numa lógica de valor de uso do conhecimento físico".

A componente de Física do programa do 10º ano desenvolve-se em torno da compreensão da Lei da Conservação da Energia, permitindo o enquadramento de diversos conceitos (de áreas como a Termodinâmica, a Mecânica e a Electricidade), numa perspectiva de educação ambiental (Caldeira, 2001). Deste modo e num momento de emergência de uma crescente consciencialização dos desafios que se nos colocam, quer energéticos, quer ambientais, a análise das eferidas inter-relações são fundamentais. O tema da actividade em estudo se adequa perfeitamente não só à referida abordagem CTSA, como à promoção de uma educação para a sustentabilidade, apesar de o programa não remeter para esta perspectiva. Saliencia-se a importância da tecnologia fotovoltaica na resolução dos problemas energéticos e ambientais, bem como o seu contributo para fazer chegar a electricidade a locais remotos, havendo contudo necessidade aumentar eficiências e reduzir os custos destes dispositivos para que seja rentável nas suas diversas aplicações.

Saliencia-se que os problemas energéticos e ambientais são globais e envolvem não só a geração actual como as próximas gerações. Nesta perspectiva e numa sociedade habituada a pensar essencialmente o presente, torna-se premente desenvolver igualmente uma educação para a sustentabilidade. Esta pressupõe a criação de um pensamento crítico interdisciplinar, que deve surgir difundida nas várias disciplinas segundo um contexto de aprendizagem integrado e criativo (Freitas, 2000).

A Educação para a Sustentabilidade promove uma cidadania responsável, na medida em que contribui para uma literacia científica, tecnológica e social e uma maior consciencialização ambiental, permitindo acções em consonância com as necessidades que se impõem, hoje, visando as necessidades das gerações futuras.

As células fotovoltaicas apresentam grande potencial na exploração das inter-relações Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente e permitem uma abordagem numa perspectiva de Educação para a Sustentabilidade. No entanto, se pensarmos que o tema se confina à

---

actividade experimental, ou seja, a uma única aula tal como o programa estabelece percebemos que este potencial não será devidamente utilizado.

##### **5. O programa encara a componente prático-laboratorial como resposta à necessidade de elevar o nível de literacia científica**

Um dos propósitos da educação CTSA é promover a literacia científica e tecnológica, permitindo aos cidadãos participar nas tomadas de decisão e agir responsabilmente face a problemas relacionados com a ciência e tecnologia da nossa sociedade.

A componente prático-laboratorial surge, de igual forma, como resposta à necessidade de elevar o nível de literacia, como se pode ler no programa (Caldeira, 2001):

(...) é igualmente fundamental que a revisão curricular assuma frontalmente o dever que lhe assiste de recuperar atrasos e de contribuir para um nível de literacia e cultural mais elevado dos alunos que frequentam a escola, aproximando-os dos seus colegas de países mais desenvolvidos. Razões desta natureza levam a assumir como pressuposto para a concretização do programa, o carácter prático-laboratorial.

A Sociedade interessa-se, geralmente, pela ciência e tecnologia, na medida em que estas podem ter um papel determinante no seu futuro. Nem sempre os efeitos ou implicações dos avanços científicos e tecnológicos são positivos ou consensuais, até porque se revelam complexos. Em alguns casos são evidentes os efeitos negativos de algumas tecnologias sobre o ambiente ou sobre a saúde. É fundamental que qualquer cidadão seja capaz de compreender as situações que o envolvem e agir em consonância, sempre que possível.

Em suma, reclama-se uma cultura científica para todos os cidadãos, reconhecendo-se no Trabalho Experimental uma importante contribuição.

A abordagem ao funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos é um contributo de grande valor para elevar o nível de literacia científica e tecnológica, ao dar a conhecer mais sobre

esta tecnologia, contribuindo para uma maior consciência das opções existentes na produção de electricidade e suas potencialidades e limitações. Os recursos energéticos e o seu consumo é um dos sete temas que Hodson (2003) considera relevantes para integrarem um novo currículo para o século XXI no sentido de conceber uma nova ciência e tecnologia.

Neste aspecto, a existência da actividade AL 1.2 é só por si uma mais valia no currículo por permitir dar a conhecer a tecnologia fotovoltaica, mas é importante que seja discutido dentro da unidade temática, o papel que se atribui a esta tecnologia.

Na análise dos vários itens que definimos foi visível a existência de uma grande coerência entre as intenções do programa e o que estabelece a investigação em didáctica das ciências. Mas apesar do programa reflectir essas inovações provenientes da investigação, isso acontece essencialmente a nível das intenções, sendo que a proposta curricular não as traduz de forma eficaz, como mostra o exemplo analisado da actividade AL 1.2. As nossas conclusões vão ao encontro do que nos diz Lopes (2004), quando refere que as revisões curriculares tratam essencialmente dos enquadramentos do sistema educativo e não das aprendizagens.

### **3.3 Questões relacionadas com a actividade AL 1.2**

Analisámos algumas questões relativas ao programa, nomeadamente a perspectiva de Trabalho Experimental contemplado nas intenções do programa e na sua concretização, tendo por base a actividade AL 1.2. Continuamos a centrarmo-nos nesta actividade, procurando identificar algumas questões que poderão surgir numa primeira abordagem e após uma leitura atenta das linhas orientadoras. As questões aqui formuladas encontrarão resposta no capítulo 2, dedicado ao tema "Energia Solar Fotovoltaica" e ao longo do presente capítulo. Pretende-se através destas remeter para um conjunto de conhecimentos que nos parecem essenciais que o professor disponha, aquando da implementação da actividade.

### **3.3.1 Questões relacionadas com conhecimentos inerentes à tecnologia fotovoltaica**

No módulo inicial do programa de Física do 10.º ano, designado por "Das fontes de energia ao utilizador", onde se insere a actividade AL 1.2, incluem-se os seguintes objectivos que remetem para um conhecimento das várias tecnologias relacionadas com a produção de energia:

- Analisar e comparar dados relativos a estimativas de “consumo” energético nas principais actividades humanas e reconhecer a necessidade de utilização de energias renováveis
- Indicar vantagens e inconvenientes da utilização de energias renováveis e não renováveis
- Associar a qualquer processo de transferência ou de transformação de energia um rendimento sempre inferior a 100% (degradação de energia)

Deste modo, admitimos, que se pretende que os alunos deverão adquiram conhecimentos gerais sobre a tecnologia fotovoltaica, para além dos que se prendem directamente com a resolução da actividade experimental em questão.

As questões que a seguir se apresentam, dizem respeito ao funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos e ao papel desta tecnologia e cujas respostas são do interesse de professores e alunos:

#### ***1. Funcionamento dos dispositivos***

- ✓ Como funciona uma célula fotovoltaica?
- ✓ Quais as curvas que caracterizam o funcionamento das células?

#### ***2. Tipos de células e eficiências***

- ✓ Como se determina a eficiência de um dispositivo fotovoltaico?
- ✓ Existem diferentes tipos de células?
- ✓ O que caracteriza cada tipo de célula?

#### ***3. Resposta de célula a diferentes factores***

- ✓ De que factores depende a eficiência de uma célula?
- ✓ Como traduz essa dependência?

#### ***4. Sistemas fotovoltaicos e seu dimensionamento***

- ✓ Como se classificam os sistemas fotovoltaicos?

- ✓ Como são constituídos os sistemas isolados domésticos?
- ✓ Como estimar a área necessária de painéis para uma dada aplicação?
- ✓ Quais os custos de uma instalação de um sistema FV numa habitação?

#### **5. Viabilidade e impacto ambiental**

- ✓ Trata-se de uma tecnologia viável?
- ✓ Há quanto tempo existe esta tecnologia no mercado?
- ✓ Trata-se de uma energia limpa?

#### **6. Papel atribuído à tecnologia FV**

- ✓ Qual o papel da energia fotovoltaica nas políticas energéticas nacionais e da Comunidade Europeia?
- ✓ Quais os cenários traçados para a energia solar fotovoltaica?

#### **7. Aplicações**

- ✓ Quais as principais utilizações?

#### **8. Vantagens e desvantagens**

- ✓ Quais os pontos, mais e menos fortes, desta tecnologia?

### **3.3.2 Questões relacionadas com a concepção e implementação da AL 1.2**

Relativamente ao que as orientações curriculares ditam podemos colocar diversas questões, do ponto de vista do professor que irá implementar a actividade junto dos seus alunos. Algumas prendem-se com a coerência da própria actividade, outras com as estratégias de sala de aula e acerca dos materiais a adoptar.

A escolha dos materiais experimentais pode parecer inicialmente elementar, mas para que se possa estudar a resposta de uma célula face a diferentes condições, é necessário que o intervalo de resistências de carga a interpor no circuito seja adequado à célula e às diferentes condições de iluminação a utilizar, sendo necessário conhecer a interdependência entre as variáveis em estudo.

Questões relacionadas com a concepção e implementação da AL 1.2:

**1. Questão problema**

- ✓ A questão-problema tem significado físico?
- ✓ A questão-problema introduz um contexto motivante para os alunos?

**2. Natureza investigativa da actividade**

- ✓ A questão-problema gera a investigação esperada?

**3. Extensão/ complexidade da actividade**

- ✓ Que controlo de variáveis se espera que os alunos realizem? Pretende-se que tracem a curva potência versus resistência para cada ensaio (cada ângulo estudado, cada filtro utilizado...)?

**4. Características dos materiais a adoptar**

- ✓ Que célula escolher? Existirão motivos para optar por uma, em particular? Que critérios de escolha farão sentido? Que características deverá ter o reóstato? Haverá vantagens na utilização de uma caixa de resistências?
- ✓ Relativamente ao candeeiro e lâmpada, que opções fazer? Que filtros escolher?
- ✓ A escolha de cada material é independente dos restantes?

**5. Estratégia de sala de aula**

- ✓ Que estratégias se impõem para a implementação da actividade?
- ✓ A actividade é extensa? Devo utilizar estações laboratoriais? Rotativas ou não rotativas?

**6. Materiais de apoio**

- ✓ Qual o grau de abertura a atribuir à actividade? O guião que o manual apresenta é adequado?
- ✓ Será adequado fornecer um guião ao aluno (protocolo) de forma a conseguir gerir "tempo disponível" versus "trabalho investigativo"?
- ✓ Como introduzir o estudo das variáveis que o programa sugere e que não são contempladas pela questão-problema?

Enquanto as respostas às questões inerentes ao funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos e ao papel desta tecnologia nos mostram o interesse desta tecnologia e uma física associada totalmente nova relativamente aos conteúdos leccionados na disciplina até então, as questões que se prendem com a concepção e implementação da actividade experimental levar-nos-ão à necessidade de a reformular na procura de maior coerência e rigor científico.

No ponto que se segue desenvolveremos a problemática deste estudo, que tomou forma à medida que nos fomos debruçando sobre a actividade experimental AL 1.2.

### **3.4 Elementos para o desenvolvimento de uma problemática**

Começámos por analisar as linhas orientadoras do programa de FQ A de forma a conhecermos quais as intenções aí manifestas e conferir se a actividade experimental AL 1.2 traduzia essas intenções. Uma leitura atenta do programa permite de imediato tirar algumas conclusões, com base no tema da actividade e igualmente na estrutura que lhe é conferida, acerca da concretização das perspectivas de ensino e aprendizagem proclamadas no programa. Outras evidências surgem quando nos focamos na actividade em si e no seu conteúdo, tais como a desconexão entre a questão-problema e as variáveis a estudar.

Na fase de concretização da actividade emergiram outras questões, umas mais por acaso, outras em resultado de um maior conhecimento acerca da física inerente aos dispositivos e sistemas fotovoltaicos e outras relativas aos procedimentos experimentais.

Procuraremos reunir estas questões, fundamentando-as, apresentando a problemática considerada.

### 3.4.1 Uma primeira abordagem à actividade experimental AL 1.2

O primeiro contacto que tivemos com a actividade experimental AL 1.2 foi no laboratório, no âmbito da disciplina de Física Experimental do Mestrado de Física para o Ensino, onde tínhamos o material experimental recomendado no programa e a descrição da actividade que aí consta.

Pretendia-se inicialmente, tal como o programa propõe, calcular a potência eléctrica fornecida pelo módulo fotovoltaico para vários valores da resistência exterior, iluminando-o com uma lâmpada fixa a uma certa distância. Efectuou-se a montagem de um circuito com um módulo fotovoltaico, um amperímetro, um reóstato e nos terminais deste, um voltímetro, de acordo com o esquema da figura 3.4 e preparou-se uma tabela para registo de dados, num caderno de laboratório. A figura 3.5 mostra o material utilizado na actividade experimental, com o circuito devidamente montado.

As várias resistências exteriores impostas eram obtidas por meio do reóstato e cujos valores fomos gerindo para que pudéssemos construir o gráfico  $P=f(R)$  como era pedido no programa, de forma a "concluir a partir do gráfico construído, que o rendimento do painel é máximo para um determinado valor da resistência utilizada" (Caldeira, 2001).

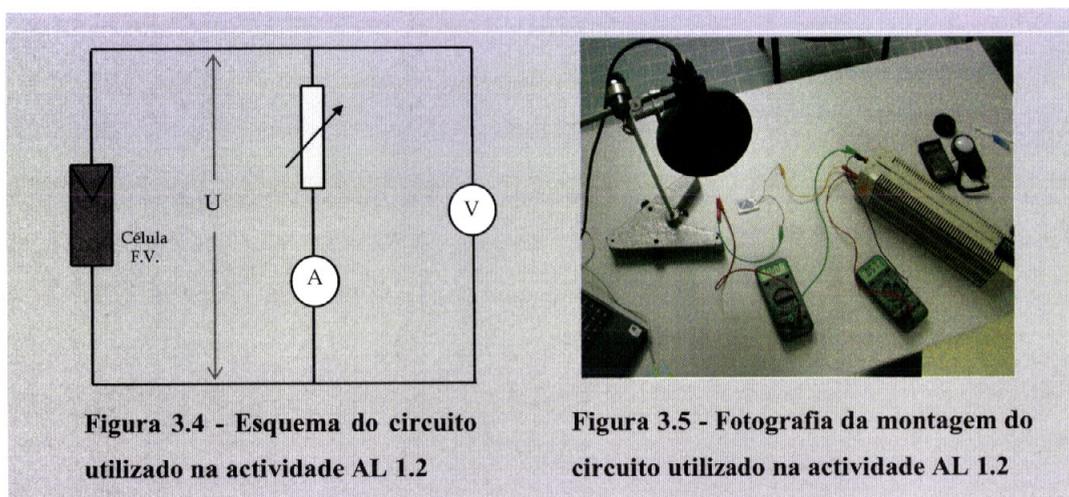
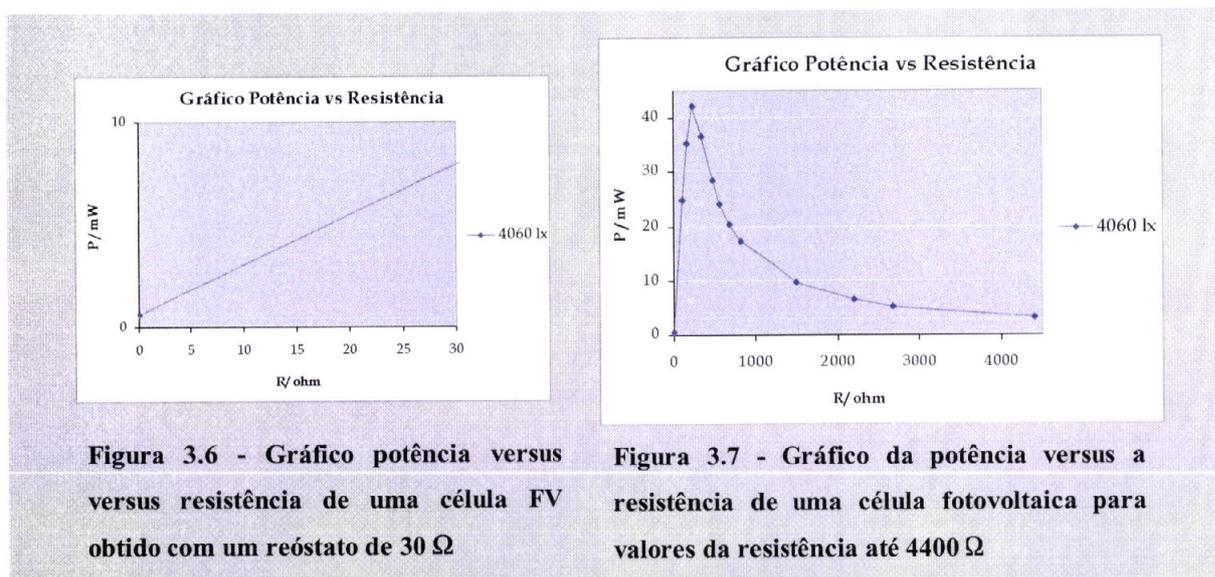


Figura 3.4 - Esquema do circuito utilizado na actividade AL 1.2

Figura 3.5 - Fotografia da montagem do circuito utilizado na actividade AL 1.2



Medimos a d.d.p. nos terminais do módulo e a intensidade da corrente no circuito para cada valor da resistência, calculando a potência fornecida e registando os respectivos valores. Verificando que a potência estava sempre a aumentar e tentando antever os resultados, introduzimos os valores mais elevados que o reóstato nos oferecia e não conseguíamos observar a diminuição da potência fornecida (gráfico da figura 3.6) uma vez que, na realidade, só nos era permitido ver parte da curva da figura 3.7. Apercebemo-nos então, que o reóstato que nos tinha sido facultado para a realização da actividade não tinha alcance suficiente para que conseguíssemos varrer toda a curva de funcionamento do módulo. O seu alcance era de  $30 \Omega$  e o valor que maximizava a potência do módulo fotovoltaico (*PHEWE 06752.03*) utilizado era da ordem das centenas. O gráfico pretendido foi obtido posteriormente com uma iluminação de 4060 lx, utilizando uma caixa de resistências com um alcance de  $4400 \Omega$  e encontra-se na figura 3.7.

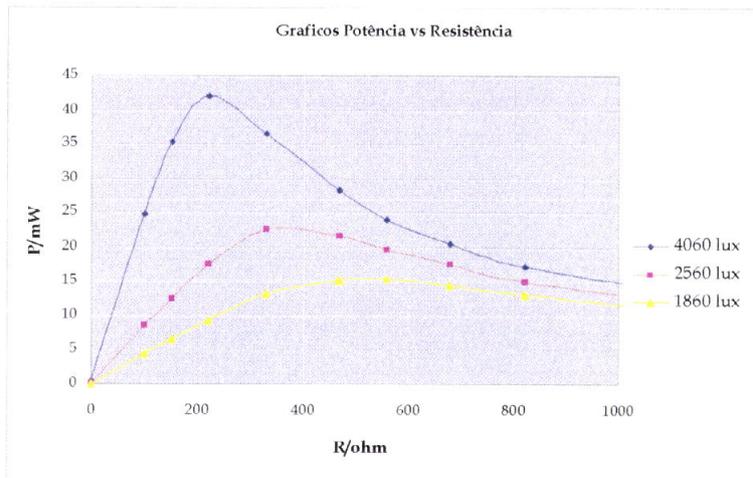


Este percalço resolve-se facilmente, desde que haja material disponível, mas chama-nos a atenção para as relações entre algumas grandezas envolvidas nesta actividade.

Salienta-se que não era o reóstato que era desadequado, nem o módulo fotovoltaico, mas apenas o conjunto e para os valores de iluminância com que estávamos a trabalhar. Este reóstato seria adequado se passássemos a ter apenas uma célula (como ilustra a figura 3.5), em vez do módulo (com 16 células) e poderia permitir identificar o ponto de máxima

potência do módulo se a iluminância fosse bastante superior, como no caso de receber radiação solar directa em vez de uma lâmpada de incandescência de 100 W.

O gráfico da figura 3.8 pretende mostrar como a resistência que maximiza a potência de uma dada célula, varia com as condições de iluminância: a potência máxima aumenta quando a iluminância aumenta, sendo que o valor da resistência que optimiza essa potência vai tomando valores cada vez menores.



**Figura 3.8 - Gráficos potência versus resistência para diferentes valores da iluminância**

Deste modo não podemos falar de apenas um valor da resistência que maximiza a potência de um dispositivo fotovoltaico, uma vez que este valor só é válido para determinadas condições exteriores.

Com isto, pretendemos mostrar como é importante a escolha dos materiais e sobretudo, ter em atenção, a compatibilidade entre eles, tendo sempre em consideração as condições com as quais se vai trabalhar, uma vez que os factores exteriores como a iluminância e temperatura vão determinar o ponto de funcionamento do dispositivo fotovoltaico para o qual a potência é máxima, para além das próprias características do dispositivo.

Após termos resolvido este primeiro problema no trabalho laboratorial, recomeçámos a nossa tarefa, mas outras questões foram surgindo. Se a situação anteriormente descrita, ocorresse dentro da sala de aula, seria um contratempo que poderia comprometer a

realização desta por parte dos alunos, dado o reduzido tempo disponível para a actividade. Iremos assim, de seguida e após apresentarmos a leitura que fazemos das orientações curriculares, sistematizar algumas das questões que merecem alguma reflexão antes da implementação da actividade AL 1.2.

### **3.4.2 Uma leitura da actividade experimental AL 1.2: que problemas?**

Iremos realizar esta leitura tendo em consideração duas perspectivas. Uma, em que olhamos para a actividade tal como o programa a propõe, como uma concretização, mais ou menos, eficaz das intenções manifestas no programa de FQ A. Depois pretendemos debruçar-nos na actividade em si e na sua coerência, sem colocarmos de parte as perspectivas de ensino e aprendizagem que se espera que esta incorpore. Deste modo e como veremos, existem dois problemas relevantes em torno da actividade:

- A ineficaz concretização das intenções do programa;
- Falta de rigor científico e a complexidade que lhe é inerente.

Analisaremos de seguida estas duas vertentes da problemática em torno da actividade em estudo.

#### **3.4.2.1 Ineficaz concretização das intenções do programa**

Visitámos anteriormente (ponto 3.2.3, página 114) as intenções manifestas no programa de FQ A e foi possível verificar que a concretização destas e com base na actividade AL 1.2, não é de todo eficaz.

Por um lado, a actividade não é exemplo de uma actividade experimental de natureza investigativa, apesar de existir essa intenção e da estrutura ser a esperada. A questão-problema que serve de contexto e ponto de partida não desencadeia a actividade experimental descrita e portanto, não exerce a função que lhe é atribuída. A questão-problema funciona essencialmente como um facilitador da interpretação dos resultados obtidos e não como contexto

A actividade experimental AL 1.2 trata um tema extremamente relevante e actual, para além de permitir abordar questões de grande interesse do ponto de vista experimental e

tendo em conta a unidade temática onde se insere. Mas o tempo que lhe é reservado (1,5 h) compromete uma abordagem CTSA ao nível das potencialidades do tema e a possibilidade de que a actividade experimental em estudo se concretize como uma investigação.

#### 3.4.2.2 Falta de rigor científico e complexidade

Quando somos confrontados com as orientações curriculares relativas à actividade em estudo (anexo I), constatamos que são bastante completas. As autoras não apresentam apenas a questão problema que motivará a investigação dos alunos, mas descrevem os procedimentos, identificando as várias variáveis a estudar e apresentam sugestões para avaliação. De forma a sistematizar esta informação e a leitura que dela fazemos, elaborou-se uma tabela que se encontra no anexo II onde apresentamos considerações acerca de cada item da actividade AL 1.2.

Destacamos três das questões que resultaram da leitura que fizemos das linhas orientadoras:

1. Uma primeira questão prendeu-se com a *questão-problema (QP)*, que encerra falta de rigor na analogia que estabelece entre a resistência exterior do circuito e os equipamentos eléctricos da habitação e que, por outro lado, não gera a actividade, apesar de o programa de FQ A revelar a intenção de que o trabalho experimental se desenvolva como uma actividade de natureza investigativa. Levantou-se a questão acerca das variáveis se espera que os alunos estudem: se as que são motivadas pela QP, ou as que são referidas nas linhas orientadoras do programa de FQ A, como variáveis a estudar. Neste último caso, questionamo-nos como se remete para o seu estudo.
2. Outra questão, prendeu-se com o estudo *do factor "interposição de filtros"*, o qual permite abordar de forma qualitativa a sensibilidade da célula a diferentes gamas de c.d.o. Pretendíamos perceber qual a importância que se atribui ao estudo desta variável nos Manuais Escolares. Na lista de materiais do programa de FQ A para esta actividade, não se referem os filtros. Deste modo, ficámos sem saber se se tratam de filtros

coloridos ou apenas vidro transparente ou vidro fosco, não permitindo concluir qual o objectivo inerente ao estudo desta variável.

3. Por último, pretendíamos compreender que *grau de complexidade* que se espera que a actividade apresente face aos alunos e que será, em parte, definida pelo controlo de variáveis para o qual se remete e para o número de variáveis a estudar.

Para além das questões referidas, outras ficaram por esclarecer, quanto ao que realmente se pretende em alguns pontos desta actividade. Uma vez que, até ao momento, apenas tínhamos consultado as orientações curriculares, decidimos então, conhecer as leituras e abordagens realizadas por alguns autores de Manuais Escolares, com o intuito de compreender de que forma ultrapassavam algumas incongruências da actividade e que soluções apresentavam.

### **3.4.3 Outras leituras: a análise das abordagens à actividade AL 1.2 em Manuais Escolares**

O Manual Escolar constitui geralmente um elemento de trabalho privilegiado para os alunos. No caso de uma actividade experimental, espera-se que os alunos realizem a sua preparação antecipadamente, utilizando eventualmente o Manual. Este pode, por este ou outro motivo, influenciar ou até determinar a abordagem feita pelo professor à actividade. Neste pressuposto, as abordagens que podemos encontrar nos Manuais são para nós relevantes e permitem-nos conhecer as leituras do programa realizadas pelos autores, bem como algumas opções adoptadas relativas à sua implementação.

#### **3.4.3.1 Um primeiro estudo**

Partimos de um estudo realizado por Costa (2003) a sete Manuais Escolares (Costa, 2002, Silva, 2003, Ventura, 2003, Rodrigues, 2003, Rodrigues, 2003 a, Bello, 2003, Maciel, 2003, Melo, 2003), no qual se pretendeu analisar:

- A forma como a actividade surge enquadrada na unidade "Do Sol ao aquecimento";
- Que informação é fornecida aos alunos relativamente à física e utilização das células fotovoltaicas;
- Como é abordada a actividade AL 1.2, através do protocolo concebido e se existem actividades pré e pós-laboratoriais.

Partindo deste estudo elaborámos as tabelas que nos permitiram fazer uma análise mais refinada do conteúdo do Manuais e que constam do anexo IV. Apresentamos no anexo V uma síntese dessa análise relativamente a três desses Manuais: (Costa, 2002), (Silva, 2003) e (Ventura, 2003). Seleccionámos apenas três Manuais, porque verificámos que entre as abordagens dos autores inicialmente analisados existiam grandes semelhanças entre si.

Desta análise concluímos que os autores dos Manuais seguem de muito perto as sugestões do programa, adoptando sempre a questão-problema aí sugerida, apresentam os materiais sem concretizar as suas características ou compatibilidades, elaborando protocolos que encaminham de uma forma mais ou menos fechada o percurso investigativo do aluno no sentido de encontrar resposta(s) à questão-problema levantada.

Geralmente, a informação fornecida aos alunos é vaga e não é suficientemente tratada a física das células fotovoltaicas de forma a fornecer elementos que permitam aos alunos compreender as relações, implicações e interpretar resultados e menos ainda, planificar e realizar a actividade experimental sem que sejam conduzidos por meio de um protocolo.

Relativamente ao dimensionamento de um sistema fotovoltaico que é pedido, geralmente como actividade pré ou pós-laboratorial, não é apresentada por vezes, informação adequada.

#### 3.4.3.2 Escolha de um Manual Escolar para análise do conteúdo

Dado não existirem diferenças significativas entre as várias abordagens dos manuais analisados e para melhor analisar alguns problemas presentes em alguns manuais, decidiu-se escolher um manual e fazer recair sobre ele uma análise mais detalhada do seu conteúdo.

Verificámos que, se por um lado, nenhum dos manuais propõe uma questão-problema alternativa, o que poderia ser, a nosso ver uma solução, por outro, verificamos que o próprio tema "Energia Solar Fotovoltaica" e a física inerente é, por vezes, abordado com falta de rigor científico.

O manual escolhido para o efeito foi "Ver+", por considerarmos que o professor terá que ter uma postura crítica face à abordagem que aqui se apresenta. Deste modo, fornecemos alguns elementos de análise, que constam na tabela que consta do anexo III.

#### 3.4.3.3 Categorias de análise

Criámos 6 categorias de análise que se agrupam em duas questões centrais: a "*questão-problema*" apresentada e a "*complexidade*" da actividade.

A questão-problema determina a natureza da actividade experimental e o *grau motivacional do contexto*, definindo ainda *as variáveis a estudar*. Por outro lado, ao traduzir o contexto, é foco de atenção e ponto de partida da actividade, pelo que deve privilegiar o *rigor científico* com que trata as questões trazidas para a sala de aula. Esse rigor deve estar igualmente presente quando se extrapolam os resultados laboratoriais de forma a dar resposta à questão-problema, que remete geralmente para uma situação real.

A outra questão considerada, a *complexidade da actividade*, relaciona-se com o número de variáveis em estudo e sobretudo, com a forma como essas variáveis se inter-relacionam entre si. No caso da actividade AL 1.2, a dependência entre as variáveis requer um cuidadoso trabalho de *controlo de variáveis*. Por outro lado, tratando-se de um tema novo para os alunos, a informação que é disponibilizada aos alunos tem de ser seleccionada de forma adequada e rigorosa para que estes tenham elementos para compreenderem a actividade.

Itens relacionados com a "*Questão-problema*" apresentada:

1. *Grau motivacional do contexto*
2. *Rigor científico*
  - i) *subjacente à QP*
  - ii) *processo de comparação* entre situação real/ laboratorial (extrapolação de resultados)
3. *Variáveis de estudo* geradas pela QP:

Itens relacionados com a "*complexidade*" da actividade:

4. *Informação disponibilizada* para a compreensão da actividade
  - i) O aluno *tem elementos* para compreender a actividade
  - ii) Existe *rigor científico nos conteúdos* abordados
5. *Controlo de variáveis* esperado
6. *Extensão* da actividade

Estas categorias de análise resultaram, quer da leitura que fazemos da actividade AL 1.2 que consta no programa de FQ A, quer da análise realizada às abordagens dos autores dos Manuais. A realização da actividade experimental e as questões que nos foram surgindo nesse percurso contribuíram igualmente para a nossa percepção da actividade, influenciando as categorias e subcategorias criadas.

#### 3.4.3.4 Análise do conteúdo do Manual "Ver +"

Procuraremos justificar a relevância de cada categoria considerada no âmbito da actividade experimental AL 1.2 sugerida no programa e apresentaremos a análise relativa ao conteúdo do Manual Escolar "Ver +". Relativamente a algumas categorias, as abordagens do programa de FQ A e do Manual, são idênticas, resultando uma análise comum.

##### **1. *Grau motivacional do contexto:***

Pensamos ser conveniente que o contexto seja particularmente motivador, para que o aluno se proponha realizar a actividade, que se revela complexa e extensa. A questão-problema proposta no programa e retomada no Manual

"Ver +". Esta foca uma aplicação da energia solar fotovoltaica que não pertence ao quotidiano da maior parte dos alunos, dado que a colocação de painéis fotovoltaicos numa habitação apenas é sentida como necessária e economicamente viável em locais afastados da rede eléctrica convencional. Apesar de a questão poder ser tratada, neste caso, com algum distanciamento, o seu interesse é indiscutível.

O autor adopta exactamente a mesma questão-problema apresentada no programa de FQ A.

## **2. Rigor científico:**

### *i) subjacente à QP:*

A questão-problema encerra falta de rigor científico na analogia que estabelece entre a resistência exterior ao circuito e a resistência dos equipamentos eléctricos existentes no interior da habitação.

No Manual "Ver +" esta analogia é retomada, podendo ler-se no ponto 5 dos procedimentos (Costa, 2002):

Efectuar a montagem de um circuito com um painel solar (associação de células fotovoltaicas), um amperímetro, um reóstato e, aos terminais deste, um voltímetro. A resistência variável simulará a resistência equivalente de um circuito de aparelhos ligados em simultâneo.  
(sublinhado nosso)

### *ii) processo de comparação entre situação real/ laboratorial (extrapolação de resultados):*

Ao centrar a actividade na procura de uma resistência (dos aparelhos) que maximiza a eficiência do painel, ter-se-á que extrapolar os valores obtidos laboratorialmente para a situação real. Esta passagem não é simples e só é válida para condições exteriores semelhantes às laboratoriais.

No Manual "Ver +", o autor remete para a construção de "um gráfico do rendimento em função da resistência" e solicita que a partir deste e "das restantes observações realizadas" se indique "formas de otimizar o rendimento de um painel fotovoltaico, no quotidiano" (Costa, 2002).

O valor obtido para a resistência que maximiza a eficiência é um valor particular, para determinadas condições de iluminância e temperatura e c.d.o. da radiação incidente que depende das características de cada dispositivo. Deste modo, não é possível dar uma resposta à questão-problema baseada nos resultados laboratoriais, uma vez as condições de funcionamento não são idênticas. Lembramos que numa situação real essas características também não seriam imutáveis.

### **3. *Variáveis de estudo geradas pela QP:***

Como já referimos o programa remete para o estudo de variáveis que não são motivadas pela QP aí sugerida. Assim, pretendíamos conhecer quais as variáveis que no Manual "Ver +" resultavam da QP aí apresentada. Como este mantém a QP sugerida no programa, continuarão a existir variáveis cujo estudo só ocorrerá se for directamente solicitado que os alunos o façam.

O protocolo criado pelo autor remete apenas para o estudo das condições de iluminância, não se fazendo referência às restantes variáveis a estudar como o "ângulo" ou a interposição de filtros. O protocolo apresentado é bastante fechado e conduz a actividade experimental sem nunca remeter para a QP, o que poderá induzir os alunos a estudarem apenas os factores para os quais o protocolo remete. Assim, ficarão por estudar "o ângulo" que até deriva da QP e "a interposição de filtros".

Do trabalho experimental sugerido no Manual "Ver +", os alunos apenas podem concluir que o painel deverá ser colocado num local em que possa

receber luz directa, uma vez que não se apela ao estudo de nenhuma outra variável.

#### **4. Informação disponibilizada para a compreensão da actividade**

##### **i) Adequação da *selecção dos conteúdos* abordados**

Sabendo que a actividade traduz, em princípio, o primeiro contacto dos alunos com os dispositivos fotovoltaicos, havendo apenas sido abordadas eventualmente algumas generalidades sobre esta tecnologia quando discutida a situação energética actual, julgamos ser pertinente fornecer algumas noções sobre o funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos antes da realização da actividade. O tema no Manual "Ver +" é abordado apenas na actividade experimental AL 1.2, não dispondo de um espaço próprio reservado ao tema "Energia Eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico". No fundamento teórico do protocolo da actividade AL 1.2 são feitas apenas algumas considerações gerais ao tema.

##### **ii) Rigor científico dos conteúdos abordados:**

No Manual "Ver +" e nomeadamente no protocolo da referida actividade registam-se várias incorrecções do ponto vista científico. Apresentaremos 3 exemplos distintos:

- Confusão entre efeito fotoeléctrico e fotovoltaico:

Relativamente ao funcionamento das células é dito por Costa (2002) que "A conversão directa de energia solar em corrente eléctrica é realizada nas células solares através do efeito fotoeléctrico (...)";

- Conceito de insolação incorrecto:

O conceito de insolação é referido como "número médio de horas de luz solar por dia" (Costa, 2002);

- Conceito de rendimento incorrecto:

A noção de rendimento de um dispositivo fotovoltaico é definido como o cociente entre a potência útil e o produto de  $V_{CA} \times I_{CC}$ , o que corresponde à noção de factor de forma. Para conhecer o rendimento seria necessário conhecer, para além da potência útil, a potência da radiação incidente. O

tratamento de dados é todo ele feito em torno da variável dependente rendimento, calculada como se refere anteriormente, quando deveria antes, no seu lugar, ser utilizada a variável potência útil.

### **5. Controlo de variáveis esperado:**

Uma das dúvidas que se nos colocou foi se deveríamos para cada factor em estudo, como por exemplo, a inclinação da radiação incidente, fazer variar a resistência exterior para cada ensaio, já que se procura conhecer e segundo a questão-problema a resistência que maximiza a potência da célula. Esta questão faz sentido, se tivermos em conta que o valor da resistência que maximiza a potência toma um valor diferente para cada ensaio, uma vez que estamos perante diferentes condições e que o ponto de funcionamento do módulo fotovoltaico se altera. Para um dado ensaio, para obter o gráfico potência versus resistência, temos que obter um conjunto considerável de valores da corrente e da d.d.p., para calcularmos a potência e construirmos a curva referida. Para cada factor em estudo, teremos que ter vários ensaios, pelo que se multiplica o trabalho de registo e tratamento de dados, que começa a requerer recursos que facilitem o processo: computador e software adequado. Mesmo que não se pretenda, em particular, conhecer a resistência que maximiza a potência, para sabermos como varia a potência útil com a iluminância, será suposto traçarmos toda a curva da potência (fazendo variar o ponto de funcionamento ou seja a resistência) para cada valor da iluminância ou espera-se que fixemos uma resistência?

O Manual "Ver +" sugere que se fixe a resistência e, que nessas condições, se estude a resposta da célula a diferentes condições de iluminação.

### **6. Extensão da actividade:**

O tempo necessário à realização da actividade está relacionado com o tipo de controlo de variáveis a considerar e quais as variáveis a estudar. Apesar dos procedimentos experimentais serem simples, a complexidade no controlo das

variáveis que resulta da interdependência entre elas revela-se desadequado para o tempo que é reservado à actividade experimental.

No Manual "Ver +" como apenas se remete para o estudo das condições de iluminação e sugere que se fixe uma resistência, pensamos que o tempo disponível será suficiente. No fundo, é reduzido o número de variáveis a estudar e simplificado o controlo de variáveis.

Por outro lado, o facto de o Manual apresentar um protocolo experimental que descreve, passo a passo, o trabalho que o aluno deve realizar, contribui para que a actividade se desenrole com maior celeridade do que se de um trabalho de natureza investigativa se tratasse.

Da análise da abordagem à actividade experimental AL 1.2 no Manual "Ver +", concluímos que segue de perto as orientações curriculares do programa de FQ A, mantendo a QP e parte dos procedimentos. Apontamos como pontos negativos o facto de não se apelar à QP como geradora do trabalho experimental a realizar, sugerindo-se antes, um protocolo fechado, incompleto e com incorrecções. Consideramos grave a falta de rigor com que se aborda certos conceitos centrais.

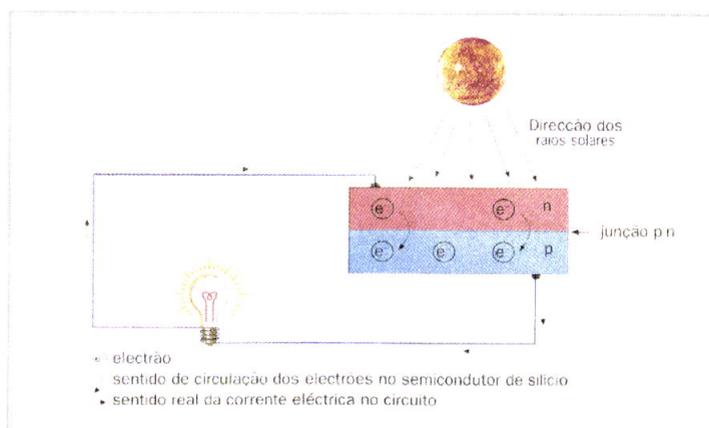
#### 3.4.3.5 O efeito fotovoltaico nos Manuais Escolares

Tal como no Manual que acabámos de analisar, não o efeito fotovoltaico não surge diferenciado do efeito fotoeléctrico, ficando a sensação que este efeito consegue, só por si, explicar o funcionamento de um dispositivo fotovoltaico e geração de potência por parte destes dispositivos.

No caso do Manual Escolar, "Física na nossa vida" encontramos um esquema (ver figura 3.9) que pretende representar a circulação de cargas que ocorrem durante o efeito fotovoltaico, mas está incorrecto, assistindo-se à permanência das incorrecções de edição para edição (Rodrigues, 2003, p. 116, Rodrigues, 2006, p. 116, Rodrigues, 2007, p. 93).

Não surge nenhuma explicação associada à figura em questão e refira-se que o termo "efeito fotovoltaico" nem sequer é mencionado no Manual "Física na nossa vida" no qual consta a figura 3.9, que o pretende ilustrar.

As setas que indicam a circulação dos electrões na junção pn estão incorrectas, dado que o campo eléctrico que se estabelece na junção tem o sentido da zona n para a zona p e a circulação dos electrões ocorrerá no sentido contrário ao do campo. Um esquema semelhante que ilustra a explicação do efeito fotovoltaico surge nas figuras 2.30 e 2.31 (capítulo 2, página 55 deste trabalho).



**Figura 3.9 - Diagrama existente num manual escolar: Circulação de electrões, na junção pn de um semicondutor de silício e no circuito exterior, extraído de Rodrigues (2006)**

Parece não existir uma distinção entre o efeito fotovoltaico e o fotoelétrico, como faz parecer a "introdução teórica" à actividade AL 1.2 num Manual editado no presente ano (Silva, Resende, Ribeiro, 2007):

Um painel fotovoltaico é constituído por um conjunto de células fotoelétricas e permite a conversão de energia solar em energia eléctrica, através do efeito fotoelétrico: como a radiação solar incidente possui energia superior à energia de ionização do material semicondutor, utilizado na construção das células fotoelétricas, são ejectados electrões (um por cada fóton incidente) que permitem o transporte de energia eléctrica.

Consultando um livro de Física como o de Gerthsen, Kneser e Vogel (1993) ficamos a saber que nos semicondutores se podem gerar portadores de carga móveis por meio de energia luminosa e que estas substâncias que aumentam a sua condutividade quando

irradiados com luz de frequência apropriada são condutores fotoelétricos ou fotocondutores. Trata-se do efeito fotoelétrico interno (elevação de portadores de carga de um cristal para estados de condução). Este efeito, em particular, designa-se por fotocondutivo e caracteriza-se por um aumento da condutividade eléctrica de um semiconductor originada pela incidência de radiação que, ao gerar portadores de carga livres, permite aumentar a condução da corrente eléctrica, devido ao aumento dos portadores de carga ou ao aumento da sua mobilidade.

Outro efeito distinto do que se referiu anteriormente é o efeito fotoelétrico externo, que é utilizado nas células fotoelétricas, nas quais por meio de luz, se extraem para o vácuo ou para um recipiente com gás, os electrões da superfície de determinados metais e óxidos.

As células referidas no texto extraído do Manual Escolar, associam este tipo de células às que constituem um painel fotovoltaico, quando deveriam sim referir que estes são constituídos por células fotovoltaicas. Depois justificam com base no efeito fotoelétrico a conversão da energia solar em energia eléctrica, sendo o efeito que aqui está a ser referido claramente o efeito fotoelétrico externo, porque se menciona a extracção dos electrões do material.

Na realidade é o efeito fotoelétrico externo que é explicado aos alunos na componente de Química do 10.º ano e que é aí designado apenas por efeito fotoelétrico. É igualmente no 10.º ano e, posteriormente, na componente de Física, que se aborda o tema da energia solar fotovoltaica, uma vez que, o programa recomenda que se leccione primeiro a componente de Química. Quando o funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos é abordado, é-nos dito então que o funcionamento destes tem por base o efeito fotoelétrico. Como os alunos apenas conhecem o efeito fotoelétrico externo, irão então associá-lo à produção da energia eléctrica nas células fotovoltaicas.

A actividade AL 1.2 é uma excelente oportunidade para que os alunos verifiquem experimentalmente que a resposta aos diferentes c.d.o. da radiação é bem diferente do que seria de esperar caso o efeito fotoelétrico fosse a verdadeira explicação de estes dispositivos se comportarem como geradores de energia eléctrica.

O mecanismo nos fotodíodos é um pouco diferente dos já mencionados, uma vez que nestes dispositivos a iluminação não dá origem a qualquer modificação de condutividade, mas dá origem a uma tensão. É neste mecanismo que assenta o funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Em suma, as explicações acerca do funcionamento dos dispositivos fotovoltaicos nos Manuais, revelam existir um grande desconhecimento dos fundamentos desta tecnologia. O efeito fotovoltaico é ignorado, parecendo só haver espaço para o fotoelétrico, como se fosse possível explicar o funcionamento de uma célula fotovoltaica, a geração de energia, as suas curvas de sensibilidade espectral, com base no efeito fotoelétrico externo. Isto acontece, quer nos primeiros manuais editados relativos a este novo programa de FQ A, quer nos últimos e que datam de 2007.

#### **3.4.4 Problemática associada à actividade AL 1.2**

Após a análise da actividade tal como é sugerida no programa e nos manuais escolares e sua realização, sistematizámos as questões que nos parecem ter maior inconsistência na actividade, procurando fundamentar cada uma delas. Possíveis alterações a introduzir na actividade deverão dar resposta às questões que se seguem, cumprindo as intenções manifestas no programa:

##### Questão-problema

A questão-problema remete para o estudo do rendimento de painéis fotovoltaicos instalados numa habitação, relacionando-o com a resistência exterior do circuito montado no laboratório. Esta questão não se coloca na situação real para a qual remete a questão-problema, uma vez que o ponto de funcionamento dos painéis não depende da resistência dos aparelhos existentes no interior da casa, como a questão pressupõe. O conjunto dos aparelhos eléctricos em funcionamento dentro de casa, não estão directamente ligados ao gerador fotovoltaico, dado que entre os receptores e o gerador encontra-se um subsistema

---

de regulação e controlo, constituído geralmente por um regulador e um conversor. É o regulador que impõe que os painéis funcionem no ponto de potência máxima, designando-se por isso, regulador de ponto de potência máxima ou MPPT (*Maximum Power Point Traking*). Apenas em aplicações muito simples, em que o dispositivo fotovoltaico está directamente ligado ao receptor, será o receptor que determina o ponto de funcionamento do gerador fotovoltaico.

Justifica-se, deste modo, que não se estabeleça uma relação entre a resistência dos aparelhos no interior da casa e o funcionamento dos painéis. A potência dos electrodomésticos existentes em casa servirão para dimensionar o sistema a instalar, uma vez que este se baseia nas necessidades energéticas, dependendo directamente da potência e do tempo de funcionamento dos aparelhos eléctricos.

Por outro lado, a questão-problema deveria surgir em cada actividade do programa como uma questão motivadora e centralizadora, com estreita relação com a realidade, mas neste caso, a actividade centra-se em algo que não traduz a situação real, contribuindo, antes para o surgimento de um conjunto de ideias erradas, sobre o funcionamento de um sistema fotovoltaico, nos alunos e eventualmente nos professores.

Poder-se-ia manter na QP a situação da instalação um painel ou módulo para uma aplicação do quotidiano, mas reformulando a questão-problema, retirando a analogia incorrecta de considerar a resistência dos aparelhos como o factor que determina o ponto de funcionamento dos painéis. Reforça-se que, as variáveis que interessa estudar são as que determinam a forma como se deve instalar os painéis e não a resistência intercalada. É sobre essas variáveis que recaem as atenções quando se pretende fazer uma instalação de um sistema fotovoltaico numa habitação.

Assiste-se nas abordagens à actividade uma tendência de tornar simples, o que é complexo. Começando na questão problema que pode ser pertinente, mas apenas num contexto simplificado, em que o dispositivo está directamente ligado ao receptor, sendo a sugestão de generalização desta situação para uma instalação de painéis numa habitação perigosa, porque cria a ilusão de uma simplicidade na relação com o conhecimento científico e

tecnológico que não deve ser alimentada. Por outro lado, fica a ilusão de que é possível estabelecer uma resistência dos aparelhos eléctricos óptima para o funcionamento dos painéis, como se o sistema fosse "estático", isto é, como se os factores exteriores (iluminância, temperatura) não sofressem alterações ao longo do dia. Caso contrário e uma vez que ao longo de um dia, a iluminância varia com a altura do sol e com as condições climatéricas, seria necessário variar a resistência de carga, o que implicaria uma criteriosa e sistemática gestão dos aparelhos utilizados dentro de casa

Já havíamos referido anteriormente que o facto de a questão-problema não gerar a actividade compromete o tipo de trabalho experimental esperado e uma verdadeira contextualização dos saberes.

### Extrapolação dos valores

Para responder à questão, qual a resistência que maximiza a potência do painel, no contexto da QP (quando é a radiação solar que incide sobre um painel) seria necessário a extrapolação dos resultados da situação em que a radiação incidente é a da lâmpada para a solar e para as dimensões do painel a colocar na habitação.

Se a resposta da célula a diferentes iluminâncias e a diferentes ângulos de incidência da radiação permite uma generalização do tipo de dependência entre as variáveis em estudo, o mesmo não acontece relativamente à resistência de carga e ao c.d.o. da radiação incidente. Se a actividade for realizada em laboratório com luz artificial, a resposta da célula face às diferentes gamas de comprimentos de onda será diferente quando a fonte luminosa passar a ser o Sol em vez de uma lâmpada de incandescência. Salienta-se que mesmo os valores obtidos laboratorialmente neste estudo, não podem ser dissociados das condições pouco rigorosas em que foram obtidos, uma vez que não existem nas escolas filtros que permitam um estudo rigoroso deste factor, porque apresentam diferentes transmitâncias e também não informam qual a gama de c.d.o. que filtram.

Quanto à resistência que maximiza a potência dos painéis na habitação, teria que ser extrapolada do valor obtido em laboratório, sendo necessário admitir iguais condições de

iluminância e de temperatura (e que fossem constantes!). A extrapolação nunca seria possível se trabalharmos com espectros das radiações incidentes era diferentes, o que obrigaria a estudar o factor "interposição de filtros" sob luz solar.

Uma das finalidades educativas da formação científica é exhibir os limites do conhecimento gerado laboratorialmente e os cuidados a ter quando se remete para uma situações reais, que traduzem geralmente sistemas mais complexos, havendo maior número de variáveis a considerar, pelo que a passagem solicitada dos resultados laboratoriais para uma resposta à QP deve ser repensada.

#### Comprimento de onda como factor em estudo

A interposição de filtros surge desligada da questão-problema: não parece existir uma relação entre o estudo desta variável (c.d.o. da radiação incidente) e a melhor forma de instalar um painel fotovoltaico numa habitação. Esta variável que apresenta um grande potencial e grande ligação com os conteúdos leccionados na respectiva unidade, surge como mais um factor a estudar, solicitado no procedimento experimental, sem motivação na questão que deveria ser geradora da actividade. Contudo, este factor parece-nos de grande interesse, uma vez que o seu estudo permite compreender que o efeito fotoeléctrico não explica o funcionamento das células.

#### Dependência e controlo das variáveis

Não existe uma resistência única que maximize a potência da célula: Podemos ler no programa (Caldeira, 2001) que: “os alunos deverão concluir, a partir do gráfico construído [potência vs resistência] que o rendimento do painel é máximo para um determinado valor da resistência utilizada.”

Os alunos poderão concluir acerca da resistência que maximiza a eficiência da célula(s) para as condições em que foi realizada a actividade laboratorial, mas salienta-se que essa

resistência será diferente quando se altera a iluminância ou qualquer outro factor que influencie o funcionamento das células. Este valor, depende igualmente do número de células associadas e do tipo de associação e das próprias células. Será fácil de compreendermos que a resistência que maximiza a potência varia nas várias situações mencionadas, se pensarmos que a curva característica do dispositivo fotovoltaico será diferente, de caso para caso, sendo o ponto de melhor funcionamento igualmente diferente.

O controlo de variáveis é exigente: o facto de a potência fornecida pela célula variar com a resistência leva a que, o estudo da dependência da potência com os diversos factores solicitados possa ser uma actividade morosa, se se traçar a curva potência versus resistência, para cada ensaio de cada variável a estudar. Do ponto de vista procedimental, a actividade torna-se extensa e comporta uma dependência entre as variáveis que consideramos ser complexa para alunos do 10.º ano de escolaridade, sobretudo tendo em consideração de que deve ser realizada numa única aula. Se fixarmos a resistência num valor que maximiza a potência em dadas condições, quando fizermos variar alguma dessas condições, a potência que obtemos já não será uma potência máxima.

A complexidade que resulta da dependência entre as variáveis tem que ser gerida na actividade a propor aos alunos e com base no tempo destinado à actividade.

Em conclusão, o problema que colocamos face ao que se disse anteriormente será o de saber que alterações se devem introduzir na actividade para que cumpra as intenções manifestas nas orientações curriculares, os objectivos relativos à actividade, cumprindo os seus procedimentos experimentais. Podemos traduzir este problema numa questão, que tomaremos como a nossa questão-problema e para a qual pretendemos obter uma resposta:

***"Que alterações introduzir na actividade AL 1.2 de forma a que ofereça rigor científico, que o contexto gere a actividade e que seja, ela própria, geradora de conhecimento físico, cumprindo as intenções do programa?"***

## **Capítulo 4 - IMPLEMENTAÇÃO DA ACTIVIDADE EXPERIMENTAL AL 1.2.**

No presente capítulo apresentaremos algumas sugestões de implementação relativas à actividade experimental AL 1.2 do programa de FQ A. Enumeramos os assuntos a abordar:

1. Selecção dos materiais para a actividade AL 1.2, na perspectiva do professor e com base nos já existentes na escola;
2. Estratégias de sala de aula;
3. Aplicação para estimar a área de um painel fotovoltaico e custos;
4. Alterações a introduzir na actividade experimental AL 1.2, apresentando-se três propostas com diferentes graus de alteração e de resolução.

### **4.1 Selecção dos materiais para a actividade AL 1.2**

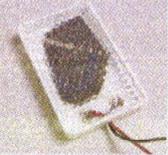
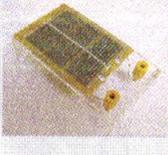
#### **4.1.1 A célula, o reóstato e fonte luminosa**

Uma vez que a actividade AL 1.2 introduz no currículo nacional a célula fotovoltaica como recurso experimental, é possível que este material não exista, até então nas escolas, ou não exista em número suficiente. Pode surgir a questão: que célula adquirir?

A resposta a esta questão depende se já existe ou não o restante material, reóstato e fonte luminosa.

Supondo que não existe o restante material, a escolha da célula não fica condicionada às características desses materiais. Nesta situação, resta saber se existe uma célula que melhor se adapte aos objectivos da actividade. Num estudo de Costa (2003) com quatro dispositivos fotovoltaicos diferentes e concluiu-se que qualquer um deles seria satisfatório para realizar a actividade e apresentamos aqui três dos dispositivos utilizados no quadro 4.1. O quarto dispositivo utilizado nesse estudo era pouco versátil no estabelecimento das ligações eléctricas, pelo que, não se sugere aqui como opção.

**Quadro 4.1 - Quadro síntese do estudo da utilização de alguns dispositivos fotovoltaicos para a AL 1.2, adaptado de Costa (2003)**

Fotografia da célula fotovoltaica	Principais características
	<p><b><u>PHYWE 06752.03</u></b></p> <p>Curvas experimentais muito idênticas às teóricas. Apresenta um factor de forma bastante elevado. Os inconvenientes podem ser o preço e a adaptação dos filtros.</p> <p><b>Preço: ~100 €</b></p> <p><a href="http://www.mtbrandao.com">www.mtbrandao.com</a></p>
	<p><b><u>N39809</u></b></p> <p>Curvas experimentais típicas de uma célula com factor de forma mais baixo que as restantes aqui apresentadas. O seu reduzido tamanho torna-a muito versátil quer no estudo do factor "ângulo" quer na "interposição de filtros".</p> <p><b>Preço: 8,14 €</b></p> <p><a href="http://store.sundancesolar.com/smalsolpanfo.html">http://store.sundancesolar.com/smalsolpanfo.html</a></p>
	<p><b><u>ETM 300 - 1.5V</u></b></p> <p>Curvas experimentais muito idênticas às teóricas e com um bom factor de forma. Preço muito razoável.</p> <p><b>Preço: 4,44 €</b></p> <p>Nota: o módulo é vendido sem o suporte de acrílico que se vê na fotografia.</p> <p><a href="http://www.ffsolar.com">www.ffsolar.com</a></p>

Pensamos que a situação de já existir algum material na escola deve ser a mais frequente. Por exemplo, poderão existir filtros e talvez seja conveniente escolher uma célula com tamanho inferior a estes, mas se isto não for possível haverá forma de contornar a situação, como veremos. Mais importante, será ajustar a célula aos reóstatos ou caixas de resistências existentes, pois como já vimos a gama de resistências a intercalar com a célula tem que ser adequada às suas características e condições de iluminância criadas.

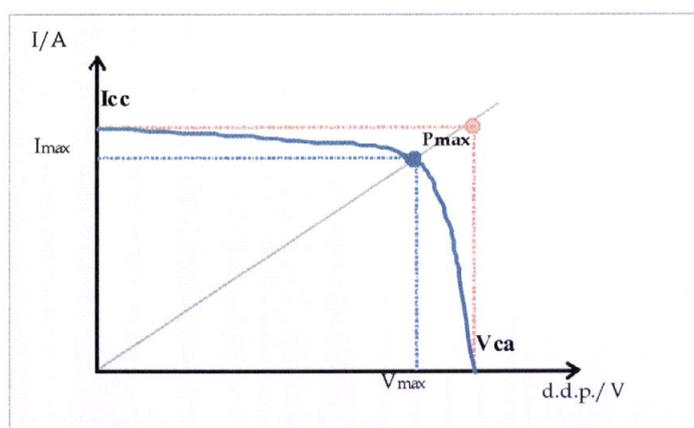
Começaremos por ver como escolher o reóstato quando já se tem um célula (ou módulo) e posteriormente a situação contrária, em que se pretende escolher a célula (ou módulo).

Se tiver uma célula fotovoltaica disponível, como devo proceder para determinar a gama

de valores da resistência que devo intercalar para estudar as suas curvas características?

Primeiro há que verificar quais os valores de  $I_{CC}$  e  $V_{CA}$  fornecidos pelo fabricante, através das quais se consegue estimar qual o valor da resistência a intercalar para maximizar a potência. Se não tivermos essa informação do fabricante, será necessário apenas um multímetro, a célula, a fonte luminosa e os fios de ligação. Mede-se a tensão em circuito aberto e a corrente de curto-circuito para uma dada radiação incidente (sensivelmente a mesma com que se vai elaborar depois a actividade).

O cociente  $V_{CA}/I_{CC}$  dará um valor indicativo para a resistência de carga a intercalar no circuito. A forma correcta de a determinar seria através do cociente de  $V_{max}$  por  $I_{max}$ , valores que estão indicados com o tracejado a azul sob a curva característica do gráfico da figura 4.1.



**Figura 4.1 - Curva característica e relação de  $V_{ca}/I_{cc}$  com a resistência que maximiza a eficiência da célula, dado por  $V_{max}/I_{max}$**

Estes valores só são conhecidos pelo estudo da variação da corrente com a d.d.p., o que não nos é acessível no caso de não termos material para traçar a curva característica, como é o caso de não dispormos do reóstato. Como se pode ver através da figura 4.1 o cociente entre  $V_{CA}/I_{CC}$  (valores a rosa e que podemos conhecer, tendo apenas a célula) é muito semelhante à resistência que maximiza a eficiência da célula, dada por  $V_{max}/I_{max}$ , que não nos é acessível.

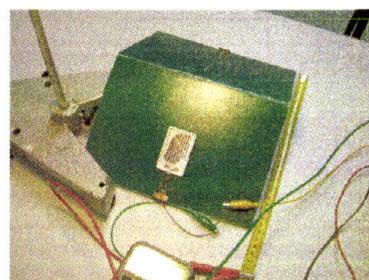
Conhecendo este valor da resistência, para as condições típicas de iluminação (candeeiro ou Sol), poder-se-á escolher o reóstato que permite visualizar as curvas de funcionamento da célula (o reóstato deverá ter um alcance superior ao dobro do valor encontrado para a resistência). Se o reóstato for adequado à iluminância resultante do candeeiro, servirá igualmente para o estudo no exterior, ao Sol, uma vez que a resistência que maximiza a potência toma valores tanto menores quanto maior for a iluminância. Já se for necessário utilizar iluminâncias menores, teremos que ter uma gama de resistências mais alargada.

No caso de termos o reóstato e precisarmos de escolher a célula, estaremos na situação inversa. Teremos que procurar uma célula através das informações do fabricante, isto é, através dos valores de  $I_{CC}$  e  $V_{CA}$ , em condições *standard*. O cociente  $V_{CA}/I_{CC}$  da célula escolhida deverá ser menos de metade do alcance do reóstato existente. Isto no caso de se ir trabalhar em condições semelhantes às *standard*, que corresponde a estar sob o Sol directo. Se se pretender trabalhar no laboratório, o cociente acima referido terá de ser menor.

#### 4.1.2 Outros materiais: filtros e "medidor de ângulos"

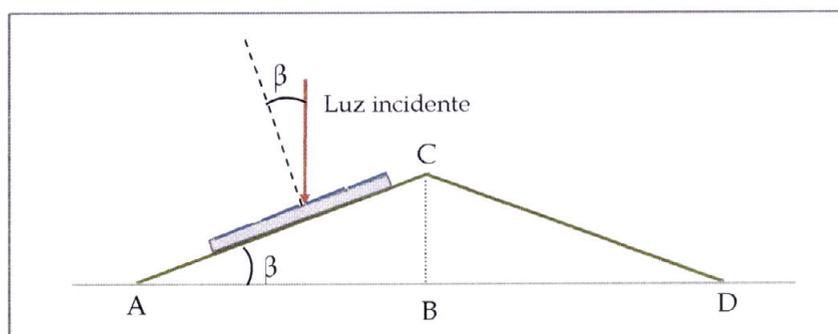
Para o estudo da variação da potência fornecida com o ângulo de incidência da radiação sugerimos a criação de um suporte cuja inclinação possa ser controlada e onde se colocará a célula (ver figura 4.2).

Este suporte poderá ser um cartão dobrado em "V" ou uma caixa de *CD's* que deverá ser devidamente fixada. Fazer variar o ângulo de incidência corresponderá a abrir mais ou menos o cartão ou a caixa, tendo o cuidado de manter constante a distância da célula à lâmpada, o que fará com que possa ser necessário fazer ajustes na posição da célula, mais para cima ou para baixo, no suporte.



**Figura 4.2 - Fotografia do "medidor de ângulos"**

O ângulo entre a luz incidente e a normal à célula é igual ao ângulo entre o painel e a horizontal. Para calcular este ângulo, mediu-se um cateto ( $\overline{AB}$ ) e a hipotenusa ( $\overline{AC}$ ) do triângulo definido pelo suporte da célula e a mesa, como se indica na figura 4.3.



**Figura 4.3 - Representação do processo utilizado para medir o ângulo  $\beta$**

O ângulo da luz incidente com a normal ao painel fotovoltaico obtém-se através da expressão seguinte:

$$\beta = \arccos\left(\frac{\overline{AB}}{\overline{AC}}\right)$$

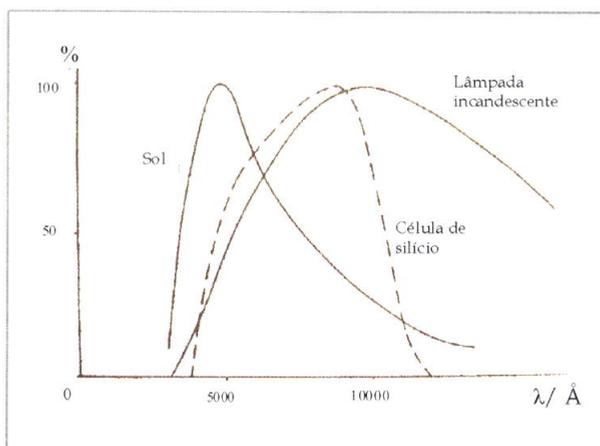
Para o estudo da variação da potência fornecida pela célula com a interposição de filtros, deverá manter-se a distância da célula à lâmpada e fazer incidir a luz perpendicularmente à célula, interpondo cada um dos filtros garantindo que apenas chega à célula luz que passou pelo filtro. Caso o filtro não cubra toda a célula poder-se-á garantir que não há luz branca a incidir na célula tapando a zona que circunscreve o filtro, como se exemplifica na figura 4.4.

Para além dos filtros coloridos que permitem depois confrontar os resultados com o espectro de absorção típico de uma célula de silício e com os espectros de emissão da(s) fonte(s), sugere-se a interposição de um vidro fosco que poderá simular a situação de um dia nublado, uma vez que filtra parte da radiação infravermelha.

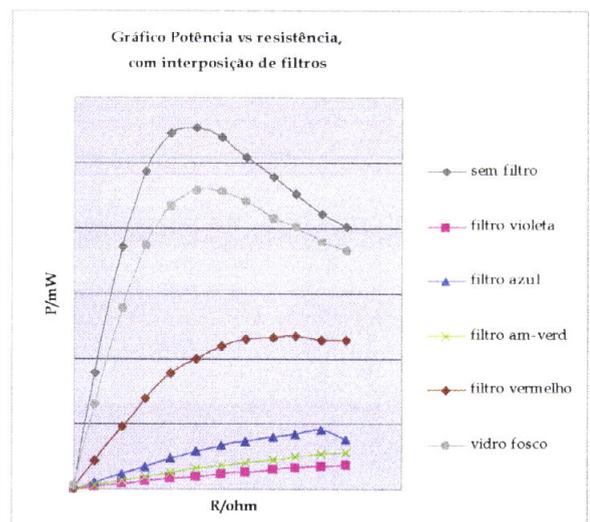


À esquerda na figura 4.4 colocámos um vidro fosco que cobria toda a célula. À direita, colocámos um filtro que cobria praticamente toda a célula e garantimos que toda a radiação que incidia sobre esta passasse pelo filtro. Para cada filtro e utilizando uma lâmpada de incandescência, fez-se variar a resistência de carga, medindo a d.d.p. e a intensidade da corrente para cada valor da resistência e os resultados obtidos encontram-se na figura 4.6.

É importante referir que os filtros utilizados podem apresentar diferentes transmitâncias, pelo que, o factor iluminância não estará nesse caso a ser devidamente controlado, contribuindo para a complexidade da actividade no que diz respeito ao controlo de variáveis. A análise dos resultados experimentais será mais interessante caso se forneça aos alunos os espectros de sensibilidade de uma célula de silício e o(s) espectro(s) de emissão da(s) fonte(s), como se mostra na figura 4.5.



**Figura 4.5 - Espectros de sensibilidade de uma célula de silício e de emissão de diferentes fontes [21]**



**Figura 4.6 - Gráfico potência versus resistência com a interposição de diferentes filtros**

## **4.2 Estratégias de sala de aula**

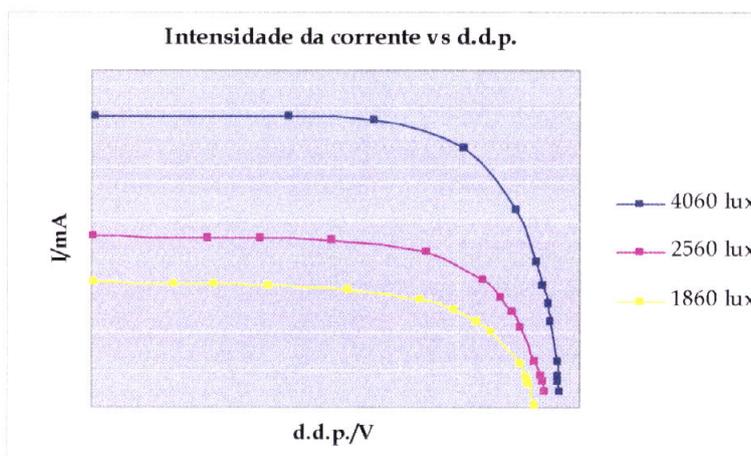
### **4.2.1 Estações laboratoriais não rotativas**

Dadas as características da actividade, poder-se-á decidir por utilizar uma estratégia de implementação baseada em estações laboratoriais não rotativas. Isto no caso de a abordagem feita pelo professor obrigar a um conjunto de procedimentos morosos, ou seja, fazer variar a resistência exterior para cada ensaio de cada factor em estudo.

No caso das estações laboratoriais, deve existir uma discussão inicial, de análise do problema e identificação das variáveis a considerar, em que cada grupo estudará uma das variáveis e, no final, deverá ser promovida uma discussão entre grupos, fundamentada nos resultados obtidos.

### **4.4.2 Simplificação no controlo de variáveis**

Se o professor optar por uma simplificação dos procedimentos, todos os grupos poderão realizar a actividade na integra. Esta simplificação poderá passar por solicitar o estudo da curva característica da célula ou módulo, reconhecendo nessa curva o ponto de máxima potência. Depois, alterando o valor da iluminância poder-se-á concluir facilmente que essa potência aumenta quando aumenta a intensidade da corrente de curto-circuito, enquanto a tensão de circuito aberto se mantém praticamente inalterável, como se pode ver no gráfico da figura 4.7.



**Figura 4.7 - Gráficos da curva característica de um dispositivo fotovoltaico para diferentes iluminâncias**

A potência máxima é aproximadamente proporcional à intensidade da corrente de circuito aberto, pelo que bastará conhecer como varia a corrente de curto-circuito para saber o que sucede com a potência máxima nessas condições. Este trabalho permitirá por um lado conhecer a curva característica da célula e perceber que esta varia com as condições exteriores e abrir caminho a um trabalho procedimental mais simplificado no estudo dos restantes factores: bastará conhecer a variação da intensidade da corrente em circuito aberto com cada um factor em estudo. Isto faz com que não seja necessário fazer variar a resistência de carga para cada ensaio de forma a conhecer a potência máxima em cada situação.

#### **4.2.3 Curva característica da célula como ponto de partida**

Considera-se de grande importância a existência de uma aula ou parte, para explicar o funcionamento das células fotovoltaicas, a associação de células e módulos e a noção de curva característica de uma célula, lembrando os vários conceitos já leccionados sobre corrente eléctrica. O conhecimento da curva característica permitirá compreender a variação da potência com a resistência exterior e com os outros factores a estudar. Deste modo, sugere-se, nos materiais produzidos para esta actividade, que os alunos comecem por traçar esta curva, para a qual apenas necessitam dos valores da tensão e da corrente para os vários valores da resistência exterior, os mesmos que lhes permitirão traçar o

gráfico potência versus resistência, sugerindo-se que visualizem (num aplicativo do *Office*) a construção dos dois gráficos à medida que vão colhendo os dados (ver figura 4.8).

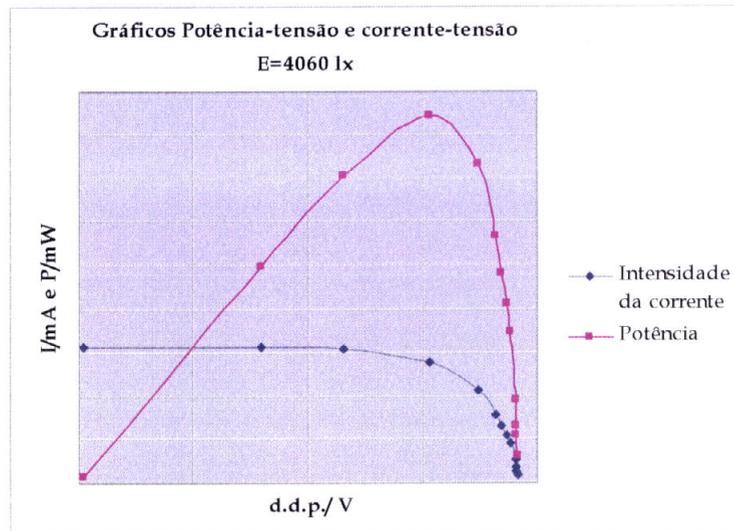


Figura 4.8 - Gráficos da potência vs d.d.p. e curva característica

Se não existirem computadores disponíveis para os vários grupos de trabalho, isto será possível se existir pelo menos um computador e um projector, para que todos os grupos possam visualizar os gráficos traçados por um dos grupos de trabalho.

### 4.3 Aplicação para estimar a área de um painel fotovoltaico e custos

Para avaliar a actividade AL 1.2 o programa sugere que se estime "a área de painéis fotovoltaicos (associação de módulos) que seria necessária para o funcionamento diário, em simultâneo, de um conjunto determinado de electrodomésticos" (Caldeira, 2001).

Deste modo, iremos apresentar uma forma de calcular a área necessária dos painéis fotovoltaicos para uma dada aplicação e posteriormente descreveremos como utilizar a aplicação informática concebida e que se encontra no anexo VI, que permite determinar área dos painéis e o custo do respectivo sistema fotovoltaico.

### 4.3.1 Cálculos para o dimensionamento do dispositivo fotovoltaico

Para determinar a área de um painel solar será necessário conhecer o *consumo médio* e a *insolação* no respectivo local e a eficiência do painel. Pode efectuar-se o seu cálculo da seguinte forma:

- 1.º) Determinar a *quantidade de energia eléctrica que se pretende produzir por dia (kW.h/dia)*, através do consumo mensal que consta do recibo da electricidade ou pelo cálculo da energia consumida, conhecidos os valores da potência dos equipamentos e o respectivo tempo de funcionamento:

$$E = \sum_i P_i \times \Delta t_i$$

- 2.º) Calcular a área do colector necessária (considerando inicialmente que tem 100% de eficiência)

$$\text{área} = \text{média da energia a produzir pelo painel (kW.h)} / \text{média solar diária (kW.h/m}^2\text{)}$$

- 3.º) Fazer o ajuste da área (considerando que a eficiência é <100%):

$$\text{área do colector} / \text{eficiência}(\%) \times 100 = \text{área corrigida (m}^2\text{)}$$

Como os cálculos são trabalhosos e para que se possa estabelecer comparações entre situações diferentes, de forma a que os alunos ganhem sensibilidade relativamente ao contributo de cada uma das variáveis a considerar quando se pretende instalar um sistema fotovoltaico, foi desenvolvida uma aplicação informática que permite simular a área e os custos inerentes a um projecto de instalação de um painel fotovoltaico numa habitação. Não se pretende que esta aplicação substitua a actividade pós-laboratorial mas que a complemente, de forma a revelar-se uma mais valia na análise dos factores a ter em conta no dimensionamento de um sistema fotovoltaico. Esta aplicação encontra-se em CD no apêndice VI.

### **4.3.2 Descrição dos passos necessários para estimar "Área e Custos"**

O método de cálculo da área utilizado na aplicação pressupõe conhecer o *consumo médio diário de energia* necessário e a *localização*, que permite conhecer a insolação média, e por fim o *rendimento* do sistema fotovoltaico, que habitualmente toma valores entre 11 e 12%.

A aplicação tem 4 passos distintos, que se passam a descrever:

#### ***1.º Passo - Identificar o projecto***

Antes de iniciar a simulação, o utilizador pode identificar o projecto e o responsável desse projecto, de forma a poder gravar a informação e recorrer a ela mais tarde, se pretender. Sempre que quiser iniciar um novo projecto basta clicar em "*novo*", sendo depois possível gravar ou apagar, através dos botões para o efeito.

#### ***2.º Passo - Calcular o consumo energético***

No caso de se tratar de uma situação em que o consumo médio diário é conhecido pode ser introduzido directamente seleccionando "*consumo diário conhecido*". Se o utilizador não conhece o consumo energético diário, deve seleccionar antes "*cálculo do consumo diário*". Neste passo é possível calcular a energia eléctrica consumida por dia numa dada habitação, introduzindo a potência dos aparelhos à qual se destina a energia, assim como o seu tempo médio de funcionamento diário.

#### ***3.º Passo - Definir localização e eficiência***

O terceiro passo é definir qual o distrito no qual se irá instalar o sistema fotovoltaico. Este dado permite a aplicação ter em conta qual a insolação média a considerar, que como sabemos, varia com a localização. Ainda num dado local, a área necessária para o painel dependerá do seu rendimento, pelo que é pedida essa informação.

#### ***4.º Passo - Calcular área e custo***

No último passo, clicando em "calcular" a aplicação dar-nos-á os valores estimados para a área do painel (m<sup>2</sup>) e para o custo (€). É de referir que este custo é apenas um valor aproximado, pretendendo funcionar como um valor indicativo da ordem de grandeza do custo da concretização do projecto em causa.

#### **4.4 Alterações a introduzir na AL 1.2**

As questões tratadas no capítulo anterior remetem para a necessidade de se introduzirem alterações na actividade, que pode tomar vários níveis, como se sugere nas três abordagens que se seguem, num crescendo de alterações a introduzir. A primeira sugestão parece-nos ainda insatisfatória, sendo que a segunda já terá condições de ser aplicada por já não conter incorrecções do ponto de vista científico e já introduz algumas melhorias. Contudo, apenas a terceira sugestão poderá ser considerada como resposta à questão-problema que formulámos no capítulo 3. O desenvolvimento desta proposta faz-se no capítulo 5.

##### **4.4.1. Retirar a analogia entre a resistência do circuito e a dos receptores na habitação**

A alteração mínima que se poderia admitir, seria a de manter a questão-problema mas retirar a analogia entre a resistência exterior do circuito com a dos equipamentos no interior da casa. Nesta situação, a resistência que maximiza a potência deixa de ser um valor a procurar, mantendo-se o estudo da resposta da célula face ao "ângulo de incidência da radiação" (que deriva da QP). Poder-se-á estudar a resposta da célula para diferentes condições de iluminação e com a interposição de filtros. Estes últimos factores terão que ser sugeridos complementarmente à QP, dado não serem gerados por esta.

Ficam a existir ainda questões a resolver, nomeadamente o facto da questão-problema não gerar a actividade e de não remeter para o estudo das várias variáveis solicitadas no programa. O contexto apesar de estar ligado a uma situação real, pode não ser sentido como significativo para os alguns alunos, dado que a colocação de um sistema fotovoltaico isolado numa habitação não é comum nem economicamente viável em locais onde exista rede eléctrica convencional.

#### **4.4.2. Utilizar outra aplicação da energia solar fotovoltaica**

Outra opção seria a de alterar a questão-problema procurando colmatar algumas das deficiências que considerámos existirem na actividade AL 1.2. Sugerimos um contexto semelhante, mas em que o dispositivo fotovoltaico fica directamente ligado ao receptor. Deste modo a analogia entre a resistência intercalada no circuito a resistência do receptor passa a fazer sentido, uma vez que o receptor vai determinar o ponto de funcionamento do dispositivo fotovoltaico.

Uma questão-problema possível seria a seguinte:

*Pretende-se instalar módulos fotovoltaicos de modo a produzir a energia eléctrica necessária para alimentar um sistema de ventilação (de 50 W\*) num automóvel/ numa tenda de campismo/num barco de recreio. Como proceder para que a eficiência do dispositivo fotovoltaico seja máxima? Como poderias regular a intensidade da ventilação (sem necessitar de recorrer a componentes electrónicos)?*

*\*Valor a adoptar pelo professor*

Apenas interessa fornecer o valor da potência do sistema de ventilação para contextualizar algumas questões pós-laboratoriais, como por exemplo, a área necessária admitindo um determinado rendimento das células ou para estimar o número de células necessárias para o efeito e como as associar (fornecendo ainda a tensão do equipamento), considerando serem semelhantes às utilizadas na aula.

Pensamos que esta questão-problema traduz um contexto motivador para os alunos, representando eventualmente uma situação que tem a ver com as vivências e interesses dos alunos, podendo inclusivamente ser concretizada a ideia. A questão-problema pode colocar-se de diferentes situações como se sugere: num sistema de ventilação a colocar 1) numa tenda de campismo; 2) num automóvel, quando estacionado; 3) num barco de recreio, atracado, consoante o interesse dos alunos.

Esta questão poderá levar os alunos ao estudo da interposição dos filtros, variável que não era contemplada com a questão-problema anterior. Esta é uma das vias, mas não a única para poderem regular a velocidade do sistema de ventilação.

Esta questão-problema motiva o estudo "ângulo". Deverão estudar igualmente diferentes condições de iluminância, comparando os valores da potência fornecida em laboratório e quando está sob sol directo a determinada hora. Com estes valores poder-se-ão discutir os limites de validade dos resultados experimentais laboratoriais e que valores utilizar para extrapolar a potência fornecida e a área necessária para um dado receptor. O professor poderá adaptar a outras situações de interesse dos alunos, mantendo o exemplo de um dispositivo fotovoltaico ligado directamente ao receptor.

Relativamente à morosidade da actividade, remete-se para a sugestão de trabalho que foi apresentada no ponto 3.5.2, que sugere realizar a actividade sem fazer variar a resistência de carga e que servirá qualquer uma das propostas de abordagem aqui sugeridas.

Apresentamos no anexo VII o guião para o aluno relativo à actividade experimental AL 1.2, considerando a questão-problema aqui sugerida e a sua implementação utilizando estações laboratoriais não rotativas.

#### **4.4.3. Utilizar novo contexto e Trabalho de Projecto**

De entre as diversas aplicações que a energia fotovoltaica possui, a nossa atenção recaiu nestas sugestões no caso particular de sistemas que convertem a energia solar em energia mecânica, de que são exemplo, a utilização do FV em sistemas de ventilação em automóveis e em veículos eléctricos (protótipos) ou em sistemas de bombagem de água, satisfazendo a condição de o dispositivo fotovoltaico estar directamente ligado ao receptor.

Contudo, quer no contexto criado da colocação de um módulo ou painel numa habitação, como o programa sugere, quer em outra aplicação em que o dispositivo fotovoltaico esteja directamente ligado ao receptor, não se conseguem contornar certas inconsistências. Na primeira sugestão (ponto 4.4.1) retira-se a correcção de admitir que o ponto que

funcionamento do dispositivo fotovoltaico depende da resistência dos equipamentos eléctricos existentes no interior da habitação. Na segunda sugestão (ponto 4.4.2) contorna-se esta questão e procura-se induzir ao estudo do factor "interposição de filtros" através da QP, o que não sucedia no primeiro caso. Contudo, a QP não implica obrigatoriamente o seu estudo porque os alunos podem tomar outros caminhos que não passem pelo estudo desta variável. Esta variável é de grande interesse pelo que nos parece importante manter o seu estudo, pelo que decidimos antes alterar o contexto da actividade, dando-lhe relevo.

A relação entre as variáveis que envolvem o estudo destes dispositivos é complexa, o que remete para a necessidade de criar um contexto suficientemente motivante e que cumpra as intenções do programa, colocando a questão problema como central e aglutinadora das questões em estudo na actividade. Para que os alunos se envolvam nos procedimentos solicitados e para que eles próprios se envolvam na planificação do trabalho experimental é importante que o contexto seja particularmente motivante, como referimos e que haja tempo para que os alunos se dediquem ao tema e compreendam as questões a estudar de forma dar resposta à QP colocada. Isto remete para um trabalho que se estende para além de uma aula experimental, devido à complexidade que a actividade apresenta e para que se desenrole como um trabalho experimental de natureza investigativa.

A ideia que surgiu para ultrapassar os principais problemas da actividade AL 1.2 foi a de construir um projecto onde os alunos seriam convidados a fazer uma corrida com carros que se movem apenas "ligados" ao Sol. Isto é, sem outra fonte de energia para além do Sol. Como instalar o módulo no carro e como controlar algumas questões inerentes à pista serão os desafios que se colocam aos alunos.

Apresentaremos no capítulo seguinte algumas considerações sobre Trabalho de Projecto e desenvolveremos a ideia referida, descrevendo o processo de concepção e implementação do projecto denominado "Em pista... ligado ao Sol".



## ***Capítulo 5 - PROPOSTA DE VALORIZAÇÃO DA ACTIVIDADE AL 1.2: DA IDEIA À IMPLEMENTAÇÃO***

### **5.1 Considerações sobre Trabalho de Projecto em educação e sua avaliação**

Actualmente, a palavra projecto surge nos mais variados contextos, fazendo parte do nosso quotidiano. Ouvimos falar de diversos tipos de projectos: projectos pessoais, projectos profissionais, projectos musicais, projectos de investigação, utilizando-se o termo de projecto quando se pretende referenciar algo que se tenciona fazer, num futuro mais ou menos próximo, ou algo presente, mas durante um intervalo de tempo alargado. Geralmente associa-se a realizações com um certo grau de complexidade e com mais de uma resposta ou solução.

O conceito de projecto pode comportar ainda significações que se revelam contraditórias, entre algo que é devidamente antecipado e estruturado e um caminho aberto a percorrer na procura de um fim (Ponte, Brunheira, Abrantes & Bastos, 1998):

(...) o conceito de projecto carrega simultaneamente dois sentidos que podem ser opostos e lhe conferem alguma ambiguidade. O projecto está conotado com o operatório e com uma certa racionalidade técnica mas, ao mesmo tempo, está ligado à procura de ideais e de significado. Por outras palavras, o projecto oscila entre a noção de "programa", algo que se realiza através de uma cuidadosa sequência de acções, e a ideia de lançar-se para a frente, ver para o futuro, projectar-se naquilo que se quer ser (p. 12).

Esta ideia de "lançar-se à frente" remete para realização de algo a iniciar, algo novo, que visa o futuro. O termo *projecto* surge, segundo Boutinet (1996), no século XV, possuindo este significado de algo lançado à frente mas com "conotações de ordenação espacial" com ligação à arquitectura, área onde ainda hoje o termo permanece, apesar do seu significado ter ganho novas dimensões.

Em educação, atribui-se a sua origem ao movimento progressista, no início do século XIX, nos Estados Unidos e em particular, às ideias de John Dewey, que concebeu a educação em termos de experiência e advogou a ideia de uma pedagogia aberta em que o aluno se torna actor da sua própria formação através de aprendizagens concretas e significativas

O projecto, ao qual se continua a associar a aprendizagem baseada na experiência é hoje encarado como uma *perspectiva pedagógica*, segundo a qual, essa mesma aprendizagem, se desenvolve a partir da experiência pessoal dos alunos e do envolvimento destes em actividades que realizam, sobre problemas dos quais se apropriam, geralmente de modo cooperativo e com uma margem de autonomia e responsabilidade (Abrantes, 1994).

### **5.1.1 Funções educativas do Trabalho de Projecto**

Segundo Lopes (2004) o Trabalho de Projecto é uma forma de orientar a aprendizagem dos alunos, concedendo-lhes um alto grau de iniciativa, com vista ao desenvolvimento de competências de alto nível e de atitudes, para além de flexibilizar o currículo.

A realização de trabalhos de projecto tem tido eventualmente um papel pouco significativo nas escolas, mesmo em disciplinas como a Física que tem uma forte componente prática. Contudo, assiste-se hoje a uma mudança clara com a introdução de disciplinas obrigatórias, quer no ensino básico quer secundário, reservadas ao Trabalho de Projecto. Na Revisão Curricular no Ensino Secundário foram implementadas novas medidas, das quais se destacam a criação de uma disciplina designada de *Área de Projecto*, nos Cursos Gerais e de *Projecto Tecnológico* nos Cursos Tecnológicos. A Reorganização dos Cursos Gerais favorece a integração das dimensões teóricas e práticas e dá maior relevância ao ensino da natureza experimental. Se, por um lado, a *Área de Projecto* e *Projecto Tecnológico* usufruem de tempo e espaço curriculares próprios, no sentido de promover “uma relação experimental com os saberes, com o concreto e com o real, bem mais significativa e central para as aprendizagens do que a tradicional e habitual relação verbal ou retórica (DES, 2003).

Contudo, no contexto em que se insere o projecto "Em pista... ligado ao Sol", isto é, no programa da disciplina de Físico-Química A do 10.º ano, não está previsto qualquer componente aberta que privilegie a realização de Trabalho de Projecto. Deste modo, este projecto será desenvolvido nas aulas reservadas à actividade do programa AL 1.2 e em momentos que funcionarão extra aula.

Encarando o currículo implementado como o conjunto das aprendizagens levadas a cabo pelos alunos, este torna-se-á mais flexível se os alunos tiverem alguma margem na decisão acerca do que fazer e como fazer, cabendo-lhes algumas opções que determinarão as aprendizagens realizadas. Apesar do projecto que aqui propomos não ser muito aberto, pensamos ser um contributo para uma maior flexibilização do currículo quando comparado com a actividade AL 1.2, que é geralmente conduzida através de um protocolo fechado (Costa, 2002, Silva, 2003, Melo, 2003).

A organização dos tempos lectivos em 90 minutos favorecem a realização de trabalho prático e permitem ainda que os alunos realizem trabalhos de maior extensão temporal, pelo que seria conveniente que os alunos nos anos que antecedem o 12.º ano, se pudessem ir familiarizando com esta perspectiva de trabalho, desenvolvendo atitudes e competências.

### **5.1.2 As características do Trabalho de Projecto**

O Trabalho de Projecto é visto como uma forma de trabalhar sobre um problema para o qual se visa uma ou mais soluções e que poderá traduzir um objectivo válido para os alunos que se irão envolver activamente nele. O problema é o ponto de partida, cuja resolução implica uma metodologia investigativa centrada na resolução de problemas, que se traduz na concretização do projecto.

Os diferentes caminhos ou processos que se tomam na concretização de um projecto, que têm a ver com métodos de trabalho, com a dinâmica do grupo e com a forma como se relacionam com o meio, são uma componente essencial do Trabalho de Projecto.

A possibilidade de optar por diferentes caminhos, é algo que distingue o Trabalho de Projecto de outras metodologias de aprendizagem, nomeadamente, a resolução de problemas, como refere De Bono, citado em Castro e Ricardo (2003):

"Num projecto, tem-se como objectivo criar qualquer coisa que tem uma função precisa. Neste sentido, o projecto dá-nos mais liberdade que a resolução de um problema, porque, desde que o objectivo seja atingido, somos livres para optar caminhos diferentes."

Segundo Castro e Ricardo (2003) transformar um problema em projecto implica optar "pela possibilidade de obter várias respostas; pela implicação dos actores; pela procura de uma intencionalidade e de um sentido das práticas pedagógicas que podem extravasar o domínio escolar".

O Trabalho de Projecto caracteriza-se ainda por uma forte relação com o contexto social, existindo uma preocupação com a autenticidade dos problemas a estudar. O ponto de partida do Trabalho de Projecto é o problema ou questão-problema que organiza e conduz as actividades, cuja resposta se formaliza num produto final, dando sentido e unidade às tarefas desenvolvidas, funcionando ainda como a face do trabalho desenvolvido pelos alunos. As tarefas e a sua sequência definem o processo, que apesar de ser a componente menos visível, deve ser tida como algo tanto ou mais importante que o produto final.

Apresentamos algumas das características fundamentais geralmente atribuídas ao Trabalho de Projecto (Abrantes, 1994, Mendonça, 2002):

- a) **É uma actividade intencional**, dado que o conjunto de actividades desenvolvidas pressupõe o empenho pessoal dos alunos, com o sentido de atingir um objectivo;
  
- b) **Implica responsabilidade e autonomia dos intervenientes**, na medida em que , eles são agentes do seu desenvolvimento e aprendizagem, ou seja, têm a capacidade de decidir e de influenciar. É fundamental desenvolver a cooperação no Trabalho de Projecto para que se consigam desenvolver e operacionalizar as ideias em tempo útil;

**c) O Trabalho de Projecto implica autenticidade.** A questão-problema tem que ter significado para o aluno e ligação com o contexto social no qual este se insere. O aluno identifica-se com o problema se este for tido como autêntico, envolvendo-se assim no Trabalho de Projecto.

Segundo Bond, citado em Abrantes (1994), o projecto é uma actividade na qual os estudantes desenvolvem compreensão de um tópico através do envolvimento num problema ou questão da vida real autêntico ou simulado e na qual têm algum grau de responsabilidade no delinear das tarefas de aprendizagem.

Após esta definição percebemos que falar em autenticidade não é sinónimo de falar em realidade, antes se tem que tomar o problema como verdadeiro apesar de ser eventualmente simulado e/ou adaptado.

**d) Possui um carácter prolongado e faseado.** A realização de um projecto percorre diversas fases que definem um percurso, que não é necessariamente linear, dado que ao longo do trabalho vão surgindo dificuldades e redireccionamentos.

Algumas das fases passam por:

1. Definição do objectivo central, que se encontra associado à questão problema;
2. Formulação dos problemas parcelares associados;
3. Planeamento e execução do trabalho;
4. Elaboração do relatório do projecto;
5. Apresentação dos resultados;
6. Avaliação.

Este tipo de trabalho estende-se por um intervalo de tempo mais ou menos prolongado e, geralmente, não surge associado a tarefas que se resolvem rapidamente.

### 5.1.3 Gestão do Trabalho de Projecto na sala de aula

Um projecto pode ser implementado de diversas formas, mas existem alguns pontos fundamentais nesse processo (Lopes, 2004, Cortesão, Leite, Pacheco, 2002, Mendonça, 2002):

- mi) A formulação e apropriação do problema.** O tema e a problemática criada devem ser, sempre que possível negociados com os alunos ou mesmo formulados por eles. Esta fase é crucial para o sucesso do projecto, pelo que não se deverá fazer economia de tempo, com o prejuízo de que os alunos não se empenhem verdadeiramente. Para conseguir gerar e sustentar a motivação dos alunos o projecto deverá ser sentido como algo necessário e autêntico para os alunos e estes deverão sentir-se competentes para o realizar;
- ii) Definir o produto esperado,** com base nos recursos disponíveis e os objectivos estabelecidos.
- iii) Acertar com os alunos datas de alguns pontos de referência** que permitam gerir o andamento do trabalho. Estes pontos serão eventualmente a formulação do problema, a finalização do produto e a apresentação dos resultados à comunidade escolar e eventualmente algumas fases intermédias a determinar dentro do trabalho que se pretende desenvolver e com base nas suas características.
- iv) Abordar as formas de avaliação.** Na fase em que se estabelecem, quer o tema quer o objectivo central do projecto, é importante que haja negociação pedagógica, sem a qual a apropriação do projecto por parte dos alunos poderá manifestar alguma fragilidade.

#### 5.1.4 A metodologia de aprendizagem no Trabalho de Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

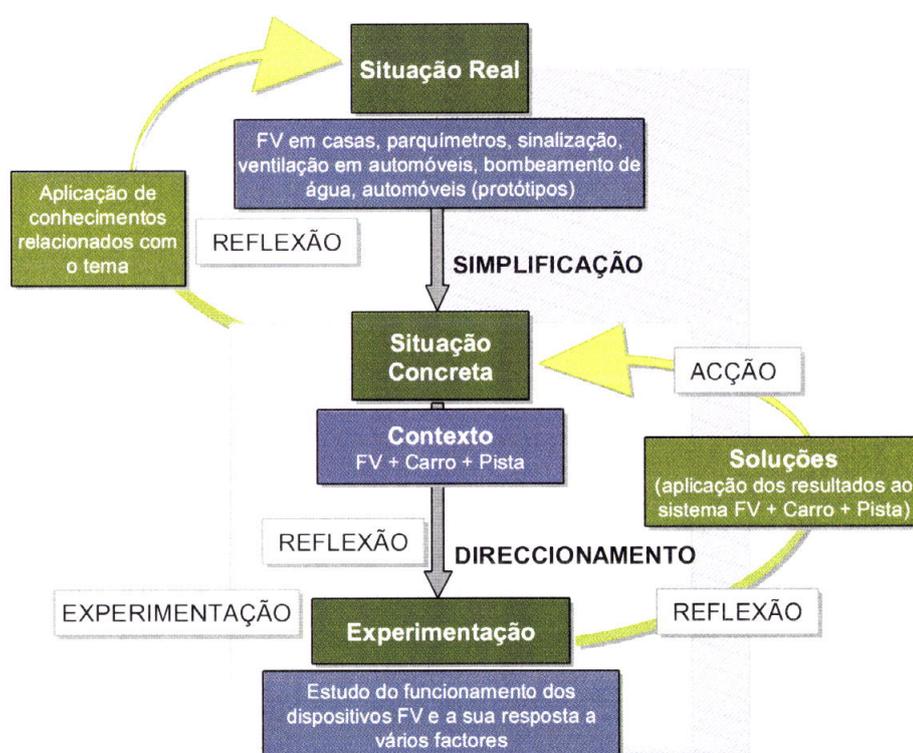
O Trabalho de Projecto parece estar, como afirma Abrantes (1994) situando-se no domínio da aprendizagem experiencial, segundo a qual, a aprendizagem se desenvolve a partir da observação e da reflexão sobre a própria experiência. Procuraremos descrever o projecto "Em pista...ligado ao Sol", identificando aí as etapas que caracterizam esse tipo de aprendizagem. Num estudo realizado por Henry (citado em Abrantes, 2004) sobre projectos que se consideravam "experienciais", concluiu-se que se associava à aprendizagem experiencial duas sequências de etapas: *i) experiência, reflexão* e *ii) experiência, reflexão, acção*, estando esta última associada, segundo a referida autora, a um ensino numa perspectiva de resolução de problemas.

O projecto "Em pista...ligado ao Sol" desenvolve-se, partindo de uma situação real, que é simplificada de forma a criar uma situação concreta sobre a qual os alunos irão trabalhar. A situação criada passa pela construção de um carro fotovoltaico e a montagem de uma pista que permitirá efectuar uma corrida entre os intervenientes. A escolha de trabalhar com um carro eléctrico prende-se com a necessidade de ir ao encontro de algo que tenha a ver com os interesses dos alunos, ou seja, com o contexto social dos alunos. Numa realidade social distinta da que aqui considerámos, pode fazer mais sentido trabalhar com a aplicação da energia solar fotovoltaica, por exemplo, para a bombagem de água ou para ventilação.

O que direcciona a investigação dos alunos é a questão-problema associada ao contexto criado, determinando as actividades experimentais a desenvolver. Os resultados aí obtidos serão aplicados à situação concreta que é a base do problema. Este ciclo descreve globalmente aquilo que consideramos ser o projecto do aluno e que está contido e resulta de um projecto mais extenso, que é o projecto do professor, como se representa no diagrama da figura 5.1.

A escolha do tema, geralmente negociada com os alunos, surge aqui como fazendo parte do projecto do professor, o que não significa que este apresente as ideias desenvolvidas como algo fechado e imutável. O professor deverá partir de situações relacionadas com o quotidiano dos alunos, conduzindo o seu interesse para o estudo da tecnologia fotovoltaica.

As problemáticas criadas nascem geralmente de situações reais, que funcionam como ponto de partida para a construir situações concretas sobre as quais recairá a atenção dos alunos. Posteriormente, as situações reais são igualmente ponto de chegada, ou seja, são alvo de uma atenção que surgirá redobrada durante e após o Trabalho de Projecto. Os saberes que resultaram do envolvimento dos alunos no projecto irão contribuir para uma nova e mais esclarecida visão da realidade. É isto que pretendemos relativamente à tecnologia fotovoltaica, que o projecto se revele gerador de conhecimento físico e permita um maior esclarecimento sobre o tema e suas inter-relações.



Projecto do aluno: projecto processo e produto

Projecto do professor: projecto projectado

**Figura 5.1 - Diagrama relativo aos projectos do professor e do aluno e a sequência de etapas esperadas**

O ciclo descrito no diagrama da figura 5.1 pode incluir as várias sequências de etapas consideradas na aprendizagem experiencial, nomeadamente, *experiência* → *reflexão* e *experiência* → *reflexão* → *acção*, culminando na reflexão sobre o mundo que nos rodeia sob um novo olhar e atribuindo novos significados aquilo que fora o ponto de partida.

***Experiência → Reflexão:***

A primeira sequência deve surgir no trabalho de interligação da situação concreta, em que o aluno *reflecte* a partir das suas vivências (experiência) ou que traduz uma experiência vivenciada ou traduzida por uma simplificação desta, como é o caso da corrida de carros fotovoltaicos, que levará os alunos a um trabalho de reflexão sobre o caminho investigativo a delinear (direccionamento).

Este direccionamento inicia-se com uma fase mais fechada do projecto em que se solicita que os alunos realizem uma actividade experimental, cujos fundamentos e procedimentos são uma base para a restante investigação a desenvolver. Com base na actividade experimental realizada e procurando dar resposta à questão-problema, os alunos irão delinear as restantes actividades experimentais, decidindo que variáveis estudar e em que condições e realizá-las.

***Experiência → Reflexão → Acção:***

Os alunos irão estudar a resposta das células face aos factores considerados (experiência) e irão, após um processo de *reflexão* sobre os resultados experimentais, aplica-los à situação concreta do sistema carro + FV + pista e testando a sua proposta e realizando a corrida final (*acção*).

Este ciclo é aqui descrito como uma sequência de etapas, mas num projecto existem naturalmente avanços e recuos e poderá acontecer que a última sequência se repita, ou seja, que seja necessário novos dados experimentais para reflectir sobre as soluções a considerar para colocar o carro em pista, ligado ao Sol nas melhores condições (situação concreta).

A problemática criada através desse contexto pretende ser a interface da apresentação dos conhecimentos físicos essenciais, sobre o funcionamento das células fotovoltaicas e que permitirão a incorporação de novos conhecimentos e a sua aplicação, através e ao longo da elaboração do projecto desenvolvido.

Ao longo do referido processo de aprendizagem há necessidade de avaliar e auto-avaliar o percurso e produto do projecto. A avaliação do Trabalho de Projecto depende da forma como este se desenvolve e do produto final que se pretende alcançar. Segundo Lopes (2004) a avaliação deverá ter como principal missão garantir que sejam desenvolvidas competências e adquiridos conhecimentos. Deverá portanto, ter essencialmente um carácter formativo.

Adoptámos como instrumento de avaliação do projecto "Em pista... ligado ao Sol", o *logbook*, relativamente ao qual faremos seguidamente algumas considerações teóricas. Apresentaremos posteriormente o *logbook* criado, quando descrevermos os materiais de apoio ao projecto desenvolvidos.

## 5.2 O *logbook* no Trabalho de Projecto

### 5.2.1 O termo "*logbook*"

Começaremos por abordar a origem da palavra, que nos remete para uma viagem desde a "navegação por estima e rumo" que remonta ao tempo dos descobrimentos até à sala de aula, na viragem para o século XXI.

#### 5.2.1.1 A origem da palavra "*logbook*"

A primeira referência à utilização de um *logbook* surge em 1679, para o registo diário da velocidade de um navio, do seu percurso, etc. [22]

Poderíamos optar por uma tradução do termo *logbook* e utilizaríamos então, a expressão "bloco de notas" ou "caderno de laboratório". Neste caso, talvez fosse mais apropriado, designá-lo de "caderno de projecto". A opção de utilizar o termo *logbook* resulta da intenção de lhe atribuir um papel distinto do esperado de um "caderno de laboratório" ou de um simples caderno de anotações. Por outro lado, a palavra *logbook* transporta consigo a concretização do brilhante engenho humano. Para conhecermos a etimologia desta

palavra, temos que recuar à era dos descobrimentos, numa época em que a navegação se efectuava por "estima e rumo" e era necessário um registo meticuloso de todos os dados para o sucesso da viagem e para permitir viagens futuras. Neste tipo de navegação, os marinheiros tinham de conhecer para além do ponto de partida, a direcção e o valor da velocidade do navio. Esta última estimava-se lançando-se um pedaço de madeira ou outro objecto da proa. Depois, era só anotar o tempo que levava para chegar à popa.

Mais tarde, o processo de determinar a velocidade de um barco evoluiu. Passou a ser determinada através de um pedaço de madeira, uma corda e uma ampulheta, constituindo um aparelho que se designa de *barquinha ou barca* (ver figura 5.2) e data dos finais do séc. XV, princípios do séc. XVI. [23]



**Figura 5.2 - Imagem de uma barquinha, extraída de [23]**

Este método para estimar a velocidade era mais preciso que o anterior e consistia em lançar da popa ao mar um pedaço de madeira amarrado a uma corda graduada em *nós*, feitos em intervalos regulares. A madeira, flutuando na água, “prendia” a corda enquanto o barco avançava. Eram contados os nós que eram puxados durante o intervalo de tempo definido pela ampulheta. Este número indicava a velocidade do navio em nós, unidade de medida que ainda hoje é utilizada nos desportos marítimos e nas características de barcos de recreio.

Tendo uma estimativa da velocidade, o navegador podia estimar a distância percorrida pelo navio num dia. O deslocamento era traçado numa carta náutica, considerando a direcção que era determinada, inicialmente, através dos céus e mais tarde com a ajuda da bússola. Os pequenos deslocamentos estimados eram anotados sistematicamente, formando um registo permanente do trajecto realizado para alcançar o seu destino.

A palavra *logbook* foi utilizada para designar o livro de registos de um navio, no qual se anotavam os dados importantes relativos à viagem, como a velocidade, distância percorrida, condições atmosféricas e outras anotações sobre a vida no interior do barco. Actualmente a palavra é tipicamente associada aos livros de registos que se utilizam na navegação aérea e marítima.

Em suma, a palavra inglesa “*log*” que significa cepo, tronco ou barrote de madeira, surge assim associada à velocidade de um navio e deriva do método que era utilizado para estimar a essa velocidade. “*Log*” surge, contudo, no sentido de registo, sem que se refira exclusivamente à velocidade, estendendo-se a outros dados.

Esta palavra relaciona-se com outra relativamente recente e já instalada no nosso vocabulário de todos os dias: “*blog*” que abrevia “*weblog*” e, como o nome indica, trata-se basicamente de um *logbook online*, no qual cada entrada surge na sequência na qual foi escrita e contém, geralmente, opiniões e reflexões pessoais.

#### 5.2.1.2 Um *logbook*, não um portefólio

No contexto da educação, o *logbook* surge normalmente como sinónimo de “*notebook*” (bloco de notas) ou caderno de laboratório. O *logbook* tem algumas semelhanças com outra ferramenta mais divulgada em educação, o portefólio, na medida em que ambos são uma colectânea de trabalhos do aluno datados e devidamente organizados. Permitem conhecer o percurso de aquisição de competências dos alunos e envolvem a reflexão destes sobre o trabalho realizado. Aqui reside a principal diferença entre os dois instrumentos: existe reflexão sobre o trabalho já concebido existe em ambos, mas enquanto o portefólio remete para o trabalho já efectuado e a selecção dos destes ocorre num momento posterior à sua realização, sendo escolhidos geralmente trabalhos aos quais o aluno atribui um significado especial relativamente ao seu processo de aprendizagem, no *logbook* a reflexão diz respeito igualmente ao presente e ao futuro. O *logbook* inclui todo o trabalho do aluno e cada entrada no *logbook* traduz um momento vivenciado, no qual a informação a introduzir é seccionada no acto do registo e passará a ser parte integrante do produto final. Uma entrada pode traduzir a reflexão sobre o que se fez, a descrição do que se está a realizar ou a

antecipação de acções futuras. A auto-monitorização do processo de aprendizagem torna-se transversal a este, surgindo o *logbook* como um instrumento de trabalho que favorece este processo metacognitivo.

Se um portefólio, nomeadamente um portefólio de aprendizagem, valoriza os processos de aprendizagem tanto ou mais que os respectivos produtos, tem-se acesso a este processo através dos vários trabalhos seleccionados. No *logbook* existe uma maior proximidade ao processo, na medida, em que este é obtido através das sucessivas entradas e não apenas uma selecção do todo e que são menos espaçadas no tempo, podendo elas próprias traduzir processos e não só produtos. Deste modo, o portefólio adequa-se a ilustrar o trabalho do aluno num período tempo relativamente grande, que poderá ser, por exemplo, de um ciclo de ensino. O *logbook* poderá servir, como neste caso, para documentar um projecto ou outro trabalho de pesquisa que se desenvolve ao longo de algumas semanas ou meses. Pode ainda conter os registos de trabalhos distintos, que envolvem diferentes conteúdos mas que representem contribuições para o desenvolvimento de um conjunto de competências afins, como o caso dos trabalhos laboratoriais desenvolvidos no âmbito de uma dada disciplina, permitindo a análise final uma visão holística das capacidades desenvolvidas.

### **5.2.2 Metodologia de concepção e utilização do *logbook***

Identificaremos alguns critérios a considerar relativamente à concepção e utilização do *logbook*:

#### **5.2.2.1 A forma e tamanho do *logbook***

A primeira decisão deve recair sobre a **escolha do caderno que virá a ser o *logbook***. Este deve ser: durável e não deverá ter argolas, para que não haja a tentação de retirar folhas, uma vez que toda a informação deve fazer parte do *logbook*, mesmo eventuais erros cometidos. Retirar qualquer informação que seja, será estar a apagar parte do processo vivenciado.

Consideramos que o *logbook* é um elemento fundamental no Trabalho de Projecto, pelo que deve estar presente em todas as fases do trabalho, desde o inicial *brainstorming* inicial à concretização do produto final. É uma prova da existência das diversas tarefas realizadas e revela a sequência pela qual foram realizadas. Para tal, deverá ter uma dimensão confortável, nem demasiadamente grande, para que acompanhe sempre que possível o aluno, nem demasiadamente pequeno, porque deverá permitir a introdução dos mais variados registos.

#### 5.2.2.2 Como registar e o que registar

Todos os registos deverão ser efectuados a caneta, nunca a lápis e o uso de corrector é totalmente proibido, de forma a preservar o percurso. Deverão ser colados ou agrafados todos os documentos importantes e nunca deixados soltos entre as páginas do *logbook*, para que não se perca informação que faz parte do percurso.

Cada registo realizado no *logbook*, a que chamaremos de entrada no *logbook*, deverá iniciar-se com a data e eventualmente a hora. Relativamente ao tipo de registos que devem dar entrada, poderíamos dizer que tudo o que diz respeito ao projecto e que é vivenciado pelo aluno. O *logbook* deve conter as questões e problemas colocados e respostas encontradas, explorações e investigações em que está envolvido. Estes elementos podem estar acompanhados de comentários acerca das dificuldades sentidas ou do contentamento de alcançar objectivos a que o aluno se propôs, revelando o significado que atribui a diferentes etapas do trabalho. Podem ser feitos comentários na primeira pessoa ou relativos ao trabalho desenvolvido em grupo. Deve incluir ainda, para além da pesquisa bibliográfica e laboratorial, as ideias, os cálculos, as dúvidas e sugestões de resolução, comentários, conversas com colegas ou outras pessoas sobre o tema ou sobre o projecto, preços de materiais, contactos, ...

Todos os dados experimentais, observações e procedimentos experimentais devem ser registados directamente e descritos cuidadosamente no *logbook*. No caso de se introduzirem novos procedimentos ou quaisquer alterações, devem ser devidamente assinalados, sem nunca inutilizar o que havia sido feito até então, mesmo que se considere

errado ou já desajustado. Neste caso, será adequado um comentário, datado, que traduza esse parecer do aluno, remetendo para a nova visão ou solução.

No sentido de que o *logbook* contemple toda a informação reunida em torno do Trabalho de Projecto, pensamos ser adequado que a memória descritiva, que funciona como um breve relatório do projecto, seja parte integrante do *logbook*. A memória descritiva surgirá no ou nos momentos que imponha fazer um ponto da situação.

### 5.2.2.3 Organização do *logbook*

Sendo um instrumento de trabalho pessoal e que se pretende intransmissível, deverá conter num local bem visível, a identificação do aluno e alguns dados como, telefone ou o endereço electrónico e o nome do professor.

A organização do *logbook* é fundamental, quer para quem o vai consultar, quer para o aluno, que o utiliza como elemento de trabalho. Na perspectiva do aluno, ele é o local de registos e mas também de consulta de informação, do que já foi desenvolvido ou pensado e pesquisado. Se forem criadas secções para o registo de diferentes tipos de informação, devidamente identificados com separadores, o processo de consulta sairá facilitado, contribuindo para uma melhoria do resultado final, em clareza e organização. A organização irá depender de cada um e da natureza do projecto, admitindo-se a possibilidade de se privilegiar apenas a sequência cronológica, sucedendo-se diferentes tipos de informação. Podemos contudo, sugerir algumas secções que de um modo geral, farão sentido:

#### i) Índice

Secções para o registo de :

- ii) Resultados da pesquisa realizada sobre o tema (a contextualização e os conhecimentos científicos e tecnológicos que fundamentam o tema);
- iii) Componente experimental (planificação, registo e tratamentos de dados);
- iv) Reflexões;

- v) Memória descritiva;
- vi) Contactos;
- vii) Referências bibliográficas.

Sendo ou não criadas secções, o *logbook* deverá ser paginado e contemplar um índice.

Como exemplo, do tipo de registo a efectuar no *logbook*, mostra-se na figura 5.3 a entrada de dia 10 de Março de 1876 de Alexander Graham Bell, onde ele descreve a sua primeira experiência sobre o telefone com sucesso, na qual, segundo ele, teria conseguido falar através do aparelho com o seu assistente que estava na sala ao lado: *"I then shouted into M [the mouthpiece] the following sentence: 'Mr. Watson--come here--I want to see you.' To my delight he came and declared that he had heard and understood what I said."* [24]

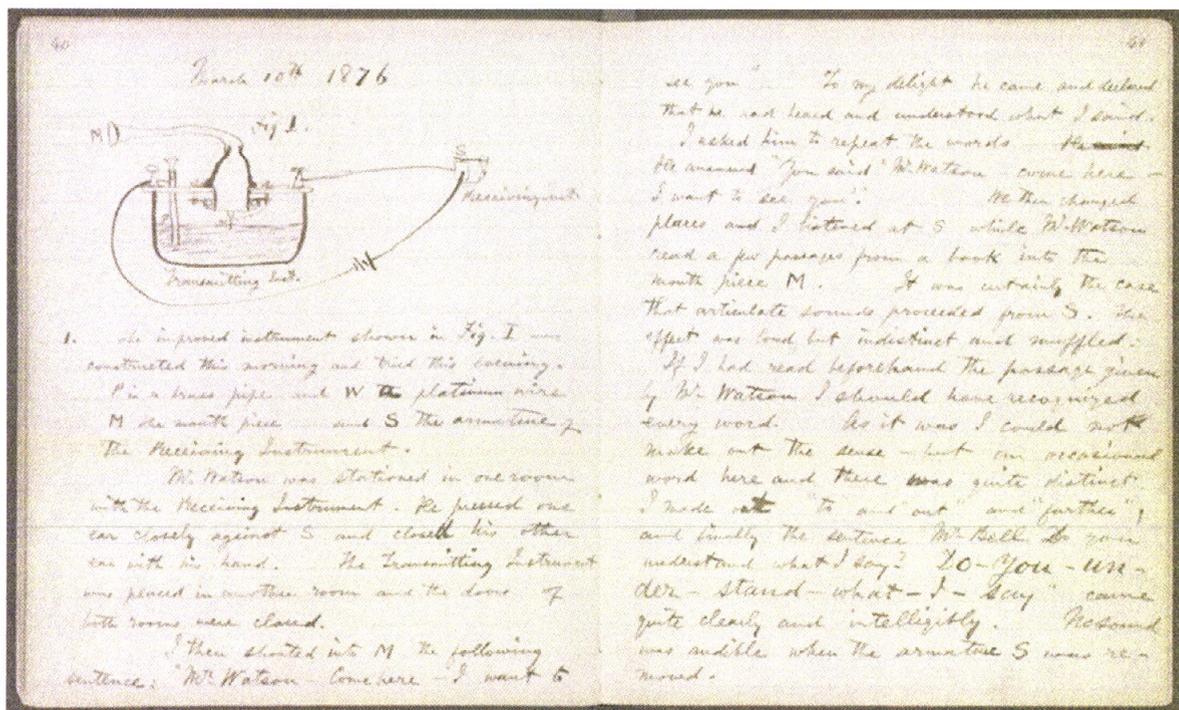


Figura 5.3 - Imagem do *logbook* de Alexander Graham Bell, extraída de [24]

Salienta-se a importância dos registos gráficos com a respectiva legenda, bem como o cuidado de Bell em descrever pormenorizadamente a sua experiência, na qual inclui os próprios diálogos.

### 5.2.3 Porquê um *logbook*?

“Produções escritas, mais ou menos extensas, realizadas pelos alunos a respeito de problemas, actividades de investigação ou projectos em que tenham trabalhado, podem constituir um factor de aprendizagem e um elemento significativo de avaliação.”

*In Didáctica* (Ponte, Abrantes, Graça, Boavida, 1997)

O *logbook* aqui desenvolvido tem três funções fundamentais: permite *revelar, organizar e avaliar*. A escolha deste instrumento de trabalho e avaliação prende-se com os papéis que lhe podemos atribuir, como:

1. **Revelador do percurso**, na medida em que permite dar visibilidade ao que tem tendência a permanecer invisível no Trabalho de Projecto, o caminho descrito;
2. **Regulador da aprendizagem;**
3. **Tarefa de composição;**
4. **Organizador do projecto.**

Desenvolveremos de seguida cada um dos papéis atribuídos ao *logbook*. Gostaríamos de salientar que as considerações que aqui faremos têm por base a ideia de *logbook* tal como o concebemos. Um *logbook* é apenas um caderno "em branco" para registos, mas o *logbook* que criámos contém também materiais dirigidos ao aluno que têm como função informar e apoiar nas suas tarefas que dizem respeito ao Trabalho de Projecto.

#### 5.2.3.1 Registrar para tornar visível

A actividade proposta “Em pista... ligado ao Sol” desenvolve-se numa perspectiva de Trabalho de Projecto, pelo que o processo adquire grande ênfase, o que acontecerá igualmente no que diz respeito à avaliação. Deste modo, é necessário que o processo esteja acessível ao professor e que este aspecto seja igualmente valorizado pelo aluno.

As condições reais de trabalho numa escola oferecem um tempo bastante limitado para o trabalho conjunto com os alunos, o que dificulta o acompanhamento próximo e minucioso

do trabalho desenvolvido por estes, e portanto, o acesso ao processo. Por outro lado, espera-se que parte do Trabalho de Projecto se realize fora da sala de aula, na medida em que, se trata de um trabalho continuado, de concepção, questionamento e pesquisa e que não tem apenas lugar na sala de aula. No sentido de permitir registar e traduzir o percurso realizado pelo aluno ao longo do projecto, remete-se para a existência de um “caderno” que deverá acompanhar sempre que possível aluno e que servirá de base a todas as anotações, a que chamamos *logbook*.

O *logbook* para além de orientar o aluno no seu percurso investigativo, serve de base para todos os registos, experimentais, resultado de pesquisas, conversas relacionadas com o projecto, pensamentos, dúvidas. O *logbook* que aqui se apresenta é uma extensão do *logbook* de laboratório ou caderno de laboratório, onde apenas se fazem registos experimentais.

O *logbook* resulta de um processo que se pretende ser de diálogo com o grupo, mas é sobretudo um documento individual, que é construído por cada aluno, como um todo, permitindo conhecer o trajecto percorrido e o seu empenho ao longo do projecto. Contribui desta forma, para que o aluno se aproprie do projecto como seu, valorizando o seu contributo nas várias fases do trabalho. Os *logbooks* permitem, desta forma, a avaliação do grupo no seu conjunto e de cada aluno individualmente.

A avaliação que o professor poderá realizar com base em observações, não lhe permite conhecer internamente o processo ou o "verdadeiro processo". Poderíamos designar este processo, que inclui toda a experiência vivenciada, com os sucessivos redireccionamentos, e diferentes velocidades de execução por *processo vivenciado* e, àquele que se tem acesso periodicamente e externamente, *processo aparente*.

Conhecer o processo aparente é como ter acesso à velocidade média de um automóvel, sem nunca saber que velocidades tomou em cada instante, que intensidades, que direcções e sentidos. O *logbook* surge com o objectivo de nos dar a conhecer a “velocidade” em cada instante, isto é, de nos aproximar do percurso de facto vivenciado pelo aluno.

### 5.2.3.2 O *logbook* como regulador da aprendizagem

O *logbook* começa por ser um instrumento de trabalho para o aluno, na medida em que é o local onde o aluno efectua todo o tipo de registos, resultantes da pesquisa bibliográfica e laboratorial e dos processos criativos e de questionamento e funciona simultaneamente como regulador das aprendizagens. Segundo Santos (s.d.) a regulação das aprendizagens poderá advir de uma multiplicidade de processos, entre os quais: a avaliação formativa, a co-avaliação e a auto-avaliação.

Os autores do programa reforçam a necessidade da utilização da avaliação formativa, destacando o seu papel regulador no processo de ensino-aprendizagem (Caldeira, 2001):

(...) o programa da disciplina de Física e Química A está concebido no pressuposto que a avaliação formativa deve ser dominante a nível da sala de aula, devido ao seu papel fundamental de regulação do ensino e da aprendizagem, pois permite ao aluno conhecer o ritmo das suas aprendizagens e ao professor tomar decisões sobre a eficácia das metodologias utilizadas com vista ao seu reajustamento e acumular informação que lhe permita realizar a avaliação sumativa nos momentos previstos na lei.

Neste contexto e relativamente à componente prática da disciplina sugerem a utilização das seguintes técnicas de avaliação (Caldeira, 2001):

listas de verificação,  
registos ocasionais,  
listas de observação,  
relatórios,  
contratos,  
portfolios,  
uma vez que, “a componente prático-laboratorial exige, mais do que qualquer outra, o recurso a uma avaliação do tipo formativo, sistemática e continuada”.

Consideramos que o *logbook*, à semelhança das técnicas que o programa sugere, favorece uma avaliação formativa, porque possibilita a intervenção do professor em diferentes

momentos, nomeadamente, ao longo do processo, que se revela de grande importância, por se tratar de uma actuação sistemática e atempada. Através do *logbook*, o professor pode, em qualquer momento inteirar-se das concepções de cada aluno, intervindo e reorientando.

O *logbook* favorece ainda o desenvolvimento das capacidades de auto-avaliação, que nas palavras de Santos (s.d.) é um processo de metacognição, entendido como um processo mental interno através do qual o próprio toma consciência dos diferentes momentos e aspectos da sua actividade cognitiva.

Para que o aluno avalie o seu próprio trabalho, terá que saber que itens são valorizados pelo professor no trabalho e saber colocar questões que lhe permitam analisá-lo. O professor deverá dar o seu contributo, explicitando os critérios de avaliação, bem como, questionando e analisando certas questões inerentes ao trabalho.

O *logbook* auxilia o aluno a tomar consciência do percurso tomado e a reflectir sobre este, avaliando as várias fases do trabalho, cabendo ao professor um papel de facilitador deste processo.

O olhar crítico que se pretende que o aluno tenha sobre o trabalho que vai desenvolvendo, pressupõe que encare o erro como inerente ao processo de aprendizagem, reconhecendo a importância de o identificar e ultrapassar, sem a tentação de o ocultar. Pretende-se que o seu reconhecimento seja sentido, não como um indicador negativo, mas como prova de aprendizagem.

Produções escritas, como o *logbook*, funcionam simultaneamente como uma oportunidade de aprendizagem, na medida em que o aluno analisa o percurso, identifica e sistematiza as fases, selecciona a informação relevante, de meta-aprendizagem na medida em monitoriza a sua própria aprendizagem e de avaliação, funcionando como um instrumento capaz de fornecer dados ao professor sobre o processo vivenciado pelo aluno e, eventualmente o significado que atribui ao trabalho realizado (processo e produto). O professor poderá, para além de avaliar o produto produzido, pelas opções que comporta e sua *performance*, compreender a relação do aluno com o produto.

O *logbook*, surge assim, como instrumento de trabalho e avaliação, cujo principal objectivo é documentar o percurso vivenciado ao longo do Trabalho de Projecto e as suas aprendizagens. Deste modo, as considerações que faremos acerca da concepção e utilização do *logbook*, vão no sentido de que, a informação do *logbook* possa traduzir o mais fielmente possível, esse percurso.

O *logbook* permite igualmente desenvolver capacidades de comunicação, de resolução de problemas e atitudes como o gosto pela pesquisa, responsabilidade e persistência. Decidiu-se incorporar no *logbook* a Memória Descritiva do projecto, uma vez que se trata de mais um registo relativo ao projecto e porque se parte do princípio que o próprio *logbook* pode funcionar como elemento de consulta para a elaboração d Memória Descritiva.

### 5.2.3.3 O *Logbook* e a Memória Descritiva como tarefas de composição

“One of the most difficult things to learn, yet one of the most important for future success in physics research, is mastering the "art" of maintaining a proper log book.” [25]

Segundo Ponte (1997) as produções escritas têm um grande potencial formativo, sendo susceptíveis de contribuir para desenvolver a autonomia e a reflexão dos alunos relativamente à sua própria aprendizagem. Deste modo a memória descritiva vem assim reforçar o papel do *logbook*, sendo um momento, por excelência, de reflexão sobre o trabalho realizado.

Com maior semelhança a um ensaio ou a um relatório, a memória descritiva do projecto tem como objectivo que o aluno escreva sobre o trabalho desenvolvido, traduzindo a sua interpretação da situação problema, explicitando as fases do trabalho, estratégias implementadas, dúvidas, erros, resultados, conclusões. Pretende-se que a memória descritiva reflecta a forma com projecto foi vivenciado pelo aluno e, que situações no percurso realizado, foram para ele, mais relevantes.

A memória descritiva deve ser um texto elaborado, por cada aluno ou pelo grupo, numa dada fase do projecto, sem que lhe seja atribuída uma estrutura rígida. A imposição de estrutura rígida, aproximaria esta produção escrita do tradicional relatório, que acompanha geralmente uma actividade experimental ou projecto. Pretende-se que os alunos descrevam o projecto, contextualizando-o, apresentem os problemas com que o aluno e/ou o grupo se depararam e as opções tomadas. Cada memória descritiva traduzirá a forma como cada aluno ou cada grupo vivenciou o projecto e se relacionou com cada uma das etapas, revelando ainda, o grau de compreensão adquirido acerca das situações e suas implicações, as estratégias adoptadas e as soluções alcançadas.

Os alunos podem escolher o tipo de texto a adoptar seleccionando e organizando as ideias que consideram mais relevantes, podendo salientar questões ou situações mais significativas e incluir figuras e esquemas facilitadores do processo comunicacional.

Para a elaboração da memória descritiva o aluno tem por base o percurso vivenciado e a informação que consta do *logbook*, que é realizado individualmente mas, que reflecte o trabalho desenvolvido em grupo, uma vez que o trabalho se desenvolve em grupo. Poderá assim, haver alguma semelhança entre os *logbooks* elaborados pelos elementos de um mesmo grupo, pelo que a memória descritiva realizada individualmente, poderá servir para melhor traduzir a relação do aluno com o projecto.

A sua realização, dentro ou fora da sala de aula, individualmente ou em grupo, está contudo relacionada com o tipo de informação que se pretende recolher e que dependerá das finalidades que o professor lhe atribui.

No caso da memória descritiva ser efectuada individualmente num momento a determinar pelo professor, em sala de aula e com um tempo determinado, poderá funcionar, por si, como um elemento de avaliação individual, por traduzir a visão do aluno, resultado da sua capacidade de auto-avaliação e das aprendizagens por ele concretizadas.

A memória descritiva poderá fazer igualmente sentido, em momentos intermédios, caso se trate de um projecto com uma certa extensão, podendo ser escrita em diferentes momentos,

uma vez que o significado do projecto, enquanto processo, existe antes da sua total concretização ou do produto final.

A actividade que aqui se propõe visa a resolução de um problema, que pressupõe a compreensão das questões inerentes e a sua resolução, o levará à construção de uma solução do problema inicial. Deste modo, diríamos que a questão-problema gera a actividade, que por sua vez, se concretiza através de sucessivas transformações de conhecimentos. Podemos considerar a actividade como geradora de conhecimentos e o *logbook* como gerador de pensamento reflexivo e estruturante para as várias transformações do conhecimento. O *logbook* é um instrumento ao serviço das aprendizagens e porque se trata de um registo, torna-se acessível e passível de ser avaliado, tornando-se ele próprio um instrumento de avaliação.

Segundo Kilpatrick citado em Ponte (1997), uma das mais prometedoras das abordagens à avaliação da resolução de problemas consiste em tratar a resolução de problemas como uma tarefa de composição:

(...) tal como numa composição se pode distinguir entre a reprodução e a transformação dos conhecimentos, também na resolução de um problema se pode observar que alguns raciocínios são uma execução quase mecânica de um procedimento treinado enquanto outros operam em vários níveis para atingir uma compreensão do problema através de várias transformações que, em última análise, produza uma solução. Quando se pede a um aluno um relatório de uma resolução de um problema matemático, ele envolve-se numa actividade parecida com a de escrever uma composição. O aluno precisa de planear de que maneira o argumento deverá ser organizado, aquilo que o leitor precisa de saber e como é que as ideias se relacionam.

Encarando o Trabalho de Projecto como uma actividade de resolução de problemas e, o *logbook* e a memória descritiva, como tarefas de composição, podemos dizer que estes últimos induzem o aluno a reflectir sobre a sua forma de pensar e agir, podendo ser considerados eficazes como instrumentos de avaliação do Trabalho de Projecto.

Alguns parâmetros que são passíveis de ser avaliados através do *logbook*, incluindo a memória descritiva:

- Relativos ao *logbook* (encarado como instrumento de registos relativos ao projecto):
  - Informação introduzida (originalidade, clareza, organização e selecção);
  - Rigor no tratamento e apresentação da informação (relativamente à pesquisa bibliográfica e actividades de carácter experimental).
  
- Relativos ao projecto (processo e produto):
  - Relevância das actividades desenvolvidas;
  - Pertinência e viabilidade das soluções apresentadas face aos dados obtidos e face à questão problema;
  - Originalidade do trabalho;
  - Coerência global do trabalho

#### 5.2.3.4 O *logbook* com organizador do Trabalho de Projecto

O *logbook* concebido neste trabalho difere do descrito na literatura [19], na medida em que, não é um caderno em branco onde se disponibiliza espaço para os registos do aluno relativamente ao trabalho experimental, estendendo-se aqui ao trabalho desenvolvido no âmbito do projecto, mas inclui igualmente informação que consideramos relevante sobre os conteúdos inerentes ao projecto e as tarefas a desenvolver.

Considerámos existirem duas alternativas no que diz respeito aos materiais que o professor pretende fornecer aos alunos e que apoiam a realização do Trabalho de Projecto, a que chamaremos “organizadores do projecto”: ou estes surgiam no momento em que seriam utilizados e portanto ao longo do projecto, sendo anexados ao *logbook* pelos alunos; ou, em alternativa, o professor forneceria esses materiais inseridos no *logbook*. Nesta opção pressupõe-se que o *logbook* é construído, isto é encadernado, pelo professor ou pelos alunos, utilizando os organizadores do projecto juntamente com folhas em branco. A própria construção do *logbook* pode ser vista como um processo criativo e pessoal, uma vez que podem ser escolhidos diferentes materiais para a capa e sua ilustração, podendo ser introduzidos de origem os separadores das várias secções criadas. Este trabalho de concepção inicial, bem como, a possível criação de um logótipo para o projecto contribuem para uma crescente apropriação do *logbook* e do trabalho a desenvolver.

O grau de abertura do projecto determinará a informação que o *logbook* deverá incluir inicialmente, ou seja, os documentos que o professor elabora como “organizadores do projecto”. O caso do nosso *logbook*, traduz a situação de um projecto relativamente fechado, consequência do pouco tempo disponível para a sua implementação. Pretende-se que os organizadores fornecidos aos alunos sejam uma ajuda na planificação do projecto e das actividades laboratoriais de investigação, conferindo-lhes uma maior autonomia.

Na medida em que o *logbook* compila toda a informação a fornecer aos alunos ao longo do Trabalho de Projecto, torna-se igualmente um instrumento que facilita a reprodução do projecto-intenção criado.

### **5.3 Concepção do projecto "Em pista...ligado ao Sol": projecto intenção do professor**

Como já referimos no capítulo 3, havia surgido após uma análise da actividade AL 1.2, quer do programa quer dos Manuais Escolares, uma questão que adoptámos como nossa questão-problema e que formulámos da seguinte forma: "Que alterações introduzir na actividade AL 1.2 de forma a que ofereça rigor científico, que o contexto gere a actividade e que seja, ela própria, geradora de conhecimento físico, cumprindo as intenções do programa?".

A concepção do projecto "Em pista... ligado ao Sol" surge como resposta a esta questão e o seu desenvolvimento descreve-se no presente capítulo, nas secções que seguem.

#### **5.3.1 Concretização da ideia**

O projecto foi desenvolvido visando cumprir os objectivos centrais da actividade do programa AL 1.2. Esta actividade surge na "Unidade1 – Do Sol ao aquecimento" de forma a estudar a produção da energia eléctrica a partir da radiação solar, reforçando a extrema importância da energia solar na nossa sociedade.

Procurámos criar um contexto motivante que cumprisse as intenções do programa, colocando a questão-problema como central e aglutinadora das questões em estudo na actividade. Pretendíamos que os alunos estudassem os diversos factores que influenciam o funcionamento das células, centrando-se a actividade, não na resistência de carga que maximiza a potência da célula, mas na forma como alguns factores influenciam o funcionamento do dispositivo fotovoltaico. Os factores a estudar seriam os sugeridos no programa, nomeadamente, o "*ângulo de incidência da radiação*", a "*interposição de filtros*" e diferentes *condições de iluminância* (diferentes fontes e diferentes iluminâncias). Dos factores que o programa solicita consideramos que "a interposição de filtros" é dos mais ricos, pois, para além de estar relacionado com os conteúdos da unidade temática,

permite compreender que o funcionamento de uma célula fotovoltaica não se baseia no efeito fotoelétrico mas no efeito fotovoltaico.

Tentando dar relevo à variável "interposição de filtros" e de forma que esta resulte da QP, pensámos numa situação em que as células fotovoltaicas ficariam sob superfícies coloridas e translúcidas (filtros). Se seguida teríamos que transportar os filtros para uma situação concreta: uma cidade onde os carros seriam eléctricos e portanto os túneis ou pontes deveriam de preferência deixar passar alguma luz. Daqui resultou a ideia de utilizar túneis coloridos. Consoante a cor, até poderiam ter a função de redutores de velocidade, como actualmente actuam as bandas sonoras. Para concretizar a ideia pensámos construir pequenos carros fotovoltaicos e obrigá-los a percorrer um trajecto no qual teriam que passar alguns túneis. Rapidamente se transformou esta ideia numa corrida, onde os participantes tinham a seu cargo, escolher os túneis e sua posição na pista, bem como, definir como instalar as células fotovoltaicas no seu carro, que se moveria porque "o Sol brilha".

A ideia foi desenvolvida de forma a que os vários factores que o programa sugere fossem estudados e que estes resultassem da QP: a melhor forma de colocar a célula no carro motivará o estudo do "ângulo de incidência da radiação" que optimiza o funcionamento da célula, sendo o estudo dos restantes factores desencadeados pelas condições a controlar relativas à pista. Quando nos referimos à pista incluímos os túneis aí existentes, cuja posição e cores será determinada pelos alunos, dentro de algumas condições que serão impostas.

A nova questão-problema proposta aos alunos, formulada na sua versão final, foi:

***Como melhorar o desempenho do carro solar fotovoltaico e quais as condições da pista mais favoráveis para ganhar a corrida?***

### **5.3.2 Concretização dos materiais experimentais**

A ideia, desde a sua forma mais abstracta até à sua concretização, foi sofrendo as alterações necessárias ao cumprimento dos nossos objectivos, sendo necessário todo um trabalho de concepção dos materiais que suportam a ideia inicial, sofrendo adaptações motivadas pelos constrangimentos, quer colocados pelos próprios materiais, quer por questões práticas.

Tivemos em consideração que, por um lado, a actividade pudesse ser reproduzida por outros professores, o que passa pela utilização de materiais existentes na escola ou que possam ser facilmente adquiridos ou elaborados e com um custo aceitável. Por outro, que as dimensões dos materiais se ajustassem quer ao transporte quer à sua arrumação posterior. Procurámos o conjunto de materiais e soluções que melhor respondiam à nossa QP, mantendo sempre que possível uma certa preocupação relativamente à estética e à durabilidade dos materiais.

Os materiais desenvolvidos incluem:

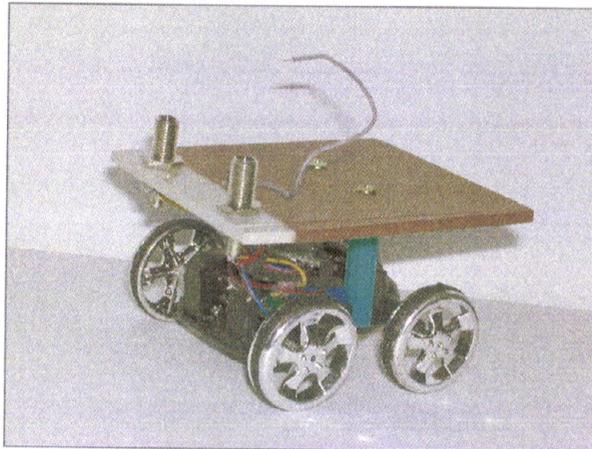
1. O carro solar fotovoltaico;
2. A pista onde se efectua a corrida;
3. Os túneis coloridos;
4. Um dispositivo que permita aferir qual o grupo vencedor da corrida.

Estes materiais visavam uma actividade que seria o produto do projecto do aluno, mas estes tinham de ser concebidos de forma a que fosse possível aos alunos estudar laboratorialmente que opções tomar.

#### **5.3.2.1 O carro solar fotovoltaico**

A primeira questão que se colocou foi como construir o carro movido a energia solar fotovoltaica.

A primeira opção foi adquirir um carrinho eléctrico de pequenas dimensões, com comando à distância, via rádio. Pensámos substituir a pilha recarregável pelo módulo fotovoltaico e teríamos assim um carrinho movido apenas a energia solar e telecomandado, o que nos permitiria controlar a direcção do carro e a sua velocidade. Surgiram problemas associados ao ponto de funcionamento do motor, que não se adequava às características do módulo. Para o referido motor era necessário uma associação de células que ocuparia uma área muito grande relativamente à que o próprio carro poderia suportar. Assim, na impossibilidade de colocar mais do que um módulo no carro de forma a fornecer a tensão necessária ao arranque do motor, devido às reduzidas dimensões do nosso veículo (ver figura 5.4), desistimos desta opção.



**Figura 5.4 – Carro parcialmente desmontado e adaptado para funcionar com um módulo fotovoltaico**

Optámos então, por adquirir um motor e módulo compatíveis, como ponto de partida para a construção do carro. Para estudarmos esta compatibilidade teríamos primeiro de adquirir os materiais. Como estes materiais não se encontram facilmente numa loja para se fazer uma compra directa, teríamos que optar por encomendar, com prejuízo de tempo e custos, pelo que facilmente se tornou evidente, que seria preferível optar por um carro já existente, onde esta compatibilidade estivesse garantida.

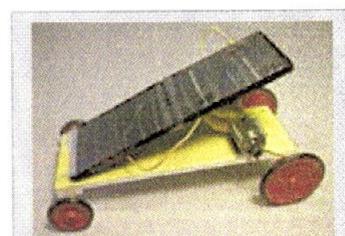
Reforça-se ainda a ideia, de que o objectivo central do trabalho seria construir a actividade de valorização da AL 1.2 e não a construção de um protótipo fotovoltaico. A nossa tarefa resumiu-se a procurar os carros ou *kits* disponíveis à venda via *internet*, uma vez que por

outra via, não tivemos acesso a nenhum material viável. Analisámos vários materiais e a nossa escolha obedeceu a alguns critérios, nomeadamente, que pudessem ser os alunos a instalar o módulo fotovoltaico no carro e que este tivesse o motor e o sistema de transmissão visível. Com isto pretendia-se que o carro não funcionasse como uma caixa preta, sem que os alunos pudessem visualizar os vários elementos responsáveis pelas transformações e transferências de energia. Esta preocupação já havia ocorrido quando procuramos adaptar um carrinho eléctrico, o qual foi transformado de forma a que fosse visível o seu interior (figura 5.4).

Escolhemos um *kit* que, por um lado, nos fornece um motor e um módulo fotovoltaico compatíveis e o restante material que permite a montagem do carro. Consideramos uma mais valia serem os alunos a construir o carro, por ser uma tarefa bastante lúdica e uma forma de os alunos se irem envolvendo no projecto. A utilização de outros materiais para além dos fornecidos para a construção do carro, justifica-se pela possibilidade de os alunos poderem usar a sua criatividade e por motivos ambientais, reutilizando materiais ou usando materiais reciclados. Podiam ainda conceber outros materiais que permitissem melhorar a *performance* do carro. Apenas o motor e o módulo teriam que ser os fornecidos.

Após a pesquisa da oferta optámos por encomendar dois kits diferentes (figuras 5.5 e 5.6), que utilizavam dispositivos fotovoltaicos diferentes e um deles funcionava com dois módulos, como se mostra na imagem da figura 5.5.

Dos dois carros e após a montagem destes, considerámos mais satisfatório o carro da figura 5.6, quer em termos de resistência, *performance* e inclusivamente em termos estéticos. Por outro lado, sugerir aos alunos o estudo da associação de dois módulos fotovoltaicos, em série ou paralelo, apesar de interessante, não seria essencial ao cumprimento dos nossos objectivos. Pelo que, foi abandonada a ideia de introduzir esse estudo, em grande parte devido ao reduzido tempo reservado à implementação da actividade, segundo o programa da disciplina.



**Figura 5.5 - Carro Solar "Pembina SunBuggy", extraído de [25]**

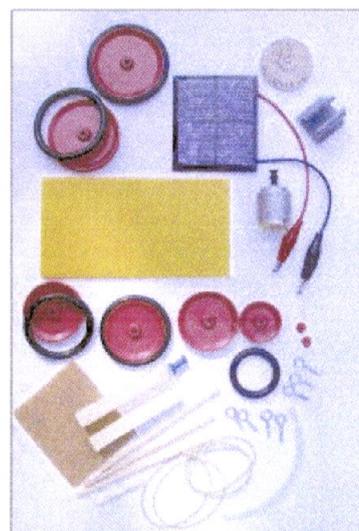


**Figura 5.6 - Carro "SolarDrive", extraído de [25]**

A escolha final foi o *kit* que permite a construção do carro da figura 5.6.

Salienta-se a importância de a montagem da célula ser fácil (a célula dispõe de crocodilos que permitem a ligação aos terminais do motor), sendo ainda possível gerir com que ângulo é colocada sobre o carro.

O *kit* consiste num conjunto de peças (figura 5.7) que permitem construir o carro solar.



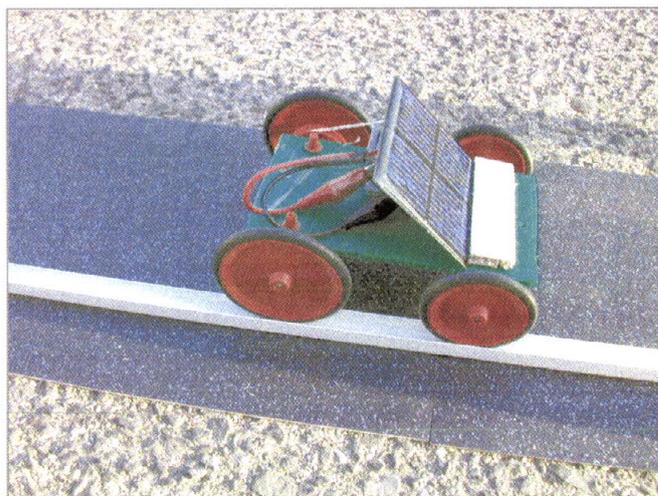
**Figura 5.7 - kit do carro "SolarDrive", extraído de [25]**

#### 5.3.2.2 A pista

O carro fotovoltaico teria que percorrer uma trajectória bem definida, ou seja, deslocar-se sobre uma pista com uma forma a definir. A tradicional pista de carros em "O" ou em "8" obrigaria a que a direcção do carro fosse variando. O facto de o carro não ser telecomandado obrigaria a que fosse a pista que condicionasse a sua direcção. Como um dos factores que pretendíamos que os alunos estudassem era o "ângulo da radiação incidente", era suposto que a situação problema privilegiasse uma determinada inclinação do módulo fotovoltaico sobre o carro. Desta forma, não fazia sentido que o carro se movesse segundo uma trajectória curvilínea porque estaríamos a fazer variar o ângulo da radiação incidente sobre o carro, ficando assim definido que a pista seria em linha recta. Como geralmente o chão é rugoso e irregular, procurámos arranjar uma base que cobrisse a zona por onde se deslocaria o carro. Pensámos em régua de madeira mas o seu transporte seria difícil, pelo que optámos por um tapete de borracha que cortámos com as dimensões que nos pareceram adequadas (200X18) cm. Estas dimensões tiveram a ver com a largura do tapete original, 2 m, que passou a ser o comprimento de cada tira que compõe a pista, sendo a largura desta tira de 18 cm, que teria de ser superior à largura do carro (7 a 8 cm, dependendo das montagens dos vários grupos).

Nesta fase, faltava-nos definir o comprimento da pista e como se deslocaria o carro sobre esta, uma vez verificado que este dificilmente andava em linha recta, acabando por sair de pista.

Imaginou-se um sistema com um cabo ou fio e um camarão enroscado no carro cuja argola correria ao longo do fio, mantendo o carro sobre a pista. O facto da pista ser relativamente comprida levava a que a tensão no fio não fosse suficiente, para além da montagem não ser muito prática. Chegámos a uma solução utilizando umas calhas de plástico em "U", servindo de carril para o carro. De forma a diminuir as perdas por atrito, em vez de utilizarmos duas calhas em paralelo, fizemo-lo apenas com uma por ser suficiente para direccionar o carro. Cada calha tem um comprimento de 270 cm, pelo que decidimos e após testarmos, optar por um comprimento para a pista coincidente com o comprimento de duas calhas, ou seja, 540 cm. A pista final constituída pelo tapete e calha de plástico surge na figura 5.8.



**Figura 5.8 – Fotografia da pista, com o pormenor da calha**

### 5.3.2.3 Os túneis

Os túneis fazem parte da ideia inicial, mas o material em que seriam concebidos não foi decidido de imediato. Contudo, os filtros que encontramos entre o material didáctico disponível para a actividade eram de acrílico e pensámos utilizar nos túneis exactamente o

material que seria provavelmente utilizado em laboratório para o estudo da variável "interposição de filtros". As decisões passaram pela forma de construir o túnel, pelas dimensões e quantidade de túneis.

Pensou-se fazer um túnel opaco que seria iluminado artificialmente, ou seja, com uma lâmpada. Esta ideia foi abandonada porque a iluminância que incidia sobre o módulo nestas condições não era suficiente para fazer mover o carro. No entanto levou-nos a pensar na existência de um túnel preto e opaco, sem qualquer iluminação, mas que teria de ter um comprimento tal que não fizesse o carro parar obrigatoriamente. Desta forma, levaríamos os alunos a averiguar como se comportaria o painel em tais condições, ou seja, sem iluminação directa.

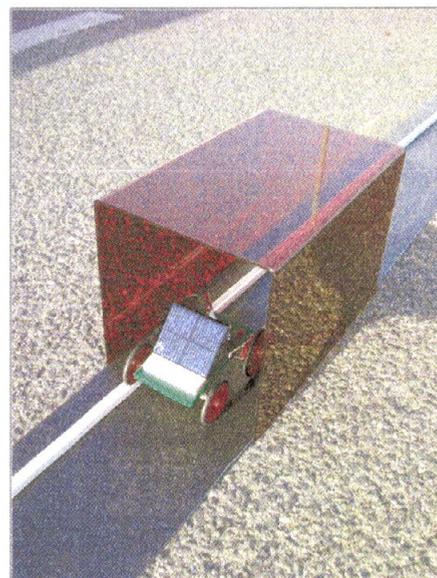
Outra questão que a situação problema coloca indirectamente é se a resposta do módulo face à luz da lâmpada será idêntica à resposta à luz solar. No programa solicitava-se o estudo face à luz normal do laboratório e de uma lâmpada extensa, sendo que há aqui uma diferença quer no espectro de emissão quer nos valores da iluminância. O mesmo se passa no contexto aqui sugerido, que remete para o estudo da resposta do módulo face a diferentes condições de iluminância e diferentes espectros de emissão.

Os túneis começaram por ser construídos por colagem de três peças cortadas à medida de forma a formarem um túnel, mas a robustez conseguida nessa construção foi muito reduzida e o custo relativamente elevado. Pensaram-se outras soluções, mas o túnel em acrílico dobrado em "U" foi a solução final (ver figuras 5.8 e 5.9). Estes oferecem uma boa resistência, sem que houvesse sombreamentos devido à existência de uma estrutura base como seria necessário se se trabalhasse com acetato colorido ou papel celofane. O túnel em acrílico preto resultou igualmente e considerámos ser uma solução esteticamente atraente.

Os custos podem ser reduzidos se se construírem túneis para uma única pista onde correrão os vários carros dos vários grupos de uma turma. Optámos pela existência de túneis amarelos, vermelhos, verdes, azuis e pretos e excluímos, posteriormente, os amarelos devido a este acrílico apresentar uma transmitância maior que os restantes, o que levaria a que os alunos concluíssem que o amarelo correspondia à gama de c.d.o. mais vantajosa para o funcionamento do módulo, o que seria incorrecto.

Os túneis coloridos são de acrílico translúcido de 3 mm de espessura, em forma de “U” (ver figura 5.9), com uma largura de 18 cm e comprimento 30 cm, sendo necessário ter disponíveis, por grupo, 2 azuis, 2 vermelhos, 2 verdes e 2 pretos.

Os túneis pretos são opacos, sendo iguais aos coloridos excepto no comprimento que é de 20 cm e deverão existir 2 por pista.



**Figura 5.9 – Túnel de acrílico vermelho**

#### 5.3.2.4 Sistema de medição de tempo

Para que a corrida entre os vários carros fotovoltaicos pudesse ter um "vencedor" seria necessário conseguir aferir qual dos carros percorreria a pista em menos tempo. A alternativa seria ter mais do que uma pista de forma a que se pudesse comparar qual chegaria primeiro à meta. Primeiro idealizámos esta situação, na qual teríamos 3 ou 4 pistas consoante o número de grupos que seriam colocadas lado a lado e desenvolvemos um sistema electrónico capaz de detectar a sequência da chegada dos carros à meta. Este teria, em cada uma das pistas um sensor mecânico que através do circuito electrónico desenvolvido iria fazer acender um *led* que indicaria a respectiva ordem de chegada. Os carros teriam que partir em simultâneo o que seria controlado por uma barreira de sombra que seria retirada de cima dos vários carros em simultâneo, na partida. Esta ideia ficou inacabada, apesar de se ter projectado e iniciado a concepção do circuito electrónico que cumpria a função descrita. Contudo, este não cumpria um dos requisitos que havíamos estabelecido como base para o trabalho a desenvolver, que era de ser viável a sua reprodução: condições para a impressão do circuito numa escola provavelmente não existirão e conceber o circuito de "forma artesanal" obrigaria um investimento de tempo desmedido e que seria apenas ou essencialmente do professor a fazê-lo. Por outro lado, seria uma tarefa que não ia ao encontro dos nossos objectivos iniciais. Analisámos a hipótese de solicitar a uma empresa que fizesse o circuito impresso e concluímos que

acarretava custos muito elevados para a realidade escolar que conhecemos, pelo que abandonámos esta ideia, que pensamos ser viável retomar no contexto da disciplina de Área de Projecto do 12.º ano e/ou se a escola oferecer condições.

Partimos para outra solução, deste vez mais versátil, na medida em que se irá medir o intervalo de tempo dispendido pelo carro para percorrer a pista, não sendo necessário ter os carros a correr em simultâneo em várias pistas e, utilizando ainda material de laboratório comercializado, digitímetros. Deste modo, só é necessário que haja uma pista, diminuindo os custos do projecto. Esta solução, apesar de parecer evidente, trouxe ainda alguns problemas. Foi necessário comprar material para fazer cabos de extensão para o fio que liga o sensor ao contador, porque a pista é bastante comprida e o cabo de ligação existente não está pensado para tal situação. Esta tarefa é relativamente simples e parece-nos adequado ser desenvolvida pelos alunos, uma vez que se resume a descarnar o cabo e fazer a ligação a um terminal macho e a um fêmea. O segundo problema que surgiu, apenas se detectou quando se experimentou todo o sistema no exterior, sob luz solar. O sensor do digitímetro que detecta luz infravermelha e deixa de detectar quando passa a máscara, quando está sob luz solar, detecta sempre a existência de luz infravermelha, deixando de identificar a passagem da máscara e portanto, deixando de funcionar. Tivemos que contornar este problema, fazendo com que o sensor de infravermelhos não recebesse luz solar. Par tal, colocámos os tapetes que constituem a pista sobre um material que os sobrelevasse de forma a que o sensor ficasse sob o tapete de borracha, no qual se faria um pequeno orifício que permitisse a passagem do feixe infravermelho emitido pelo *fotogate*. O material que escolhemos para colocar por baixo foi a esfervite por se poder cortar na medida do tapete e permitir abrir sulcos para o encaixe do *fotogate*. Para que o carro na sua passagem fechasse o *fotogate*, foi colocado um pequeno pau de madeira encaixado na parte lateral do carro para que servisse de máscara.

Desta forma conseguimos ter uma medida bastante precisa do intervalo de tempo dispendido por cada carro, sendo possível podendo inclusivamente determinar a velocidade média na corrida. Conseguir ter registos do movimento do carro ao longo do trajecto, traria informação de grande interesse, mas obrigaria a ter um sensor de movimento diferente dos tradicionais. Estes detectam a presença dos objectos próximos do carro, como os túneis, e que não se fixam apenas no objecto que pretendemos. Um sensor que permitiria estudar as

características do movimento do carro em cada instante, caso se quisesse privilegiar esta análise seria o sensor de movimento "rato" desenvolvido por Silva e Costa (2005), em que o próprio móvel, o rato, é o sensor, cujas posições são conhecidas em cada instante através do computador ao qual este se liga.

A figura 5.10 mostra a pista com os respectivos túneis, com o sistema de contagem de tempo instalado. É visível a esferovite colocada debaixo do tapete, o qual permitiu a colocação dos *fotogates* sob o tapete.

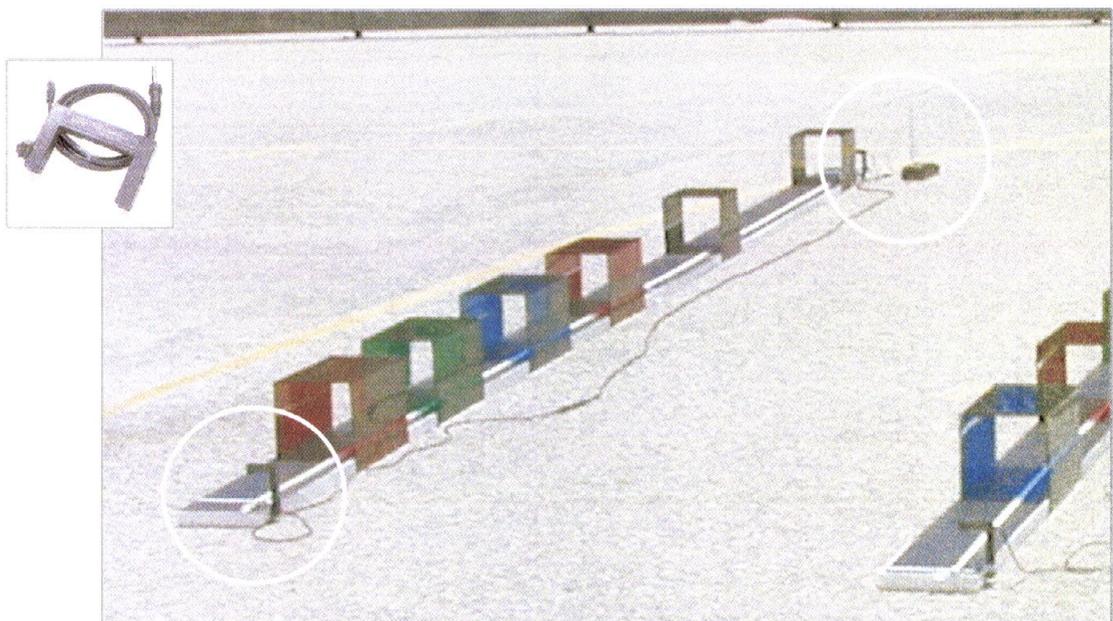


Figura 5.10 – Fotografia da montagem das pistas e sistema de medição de tempo

Descrita a ideia que pretende ser solução da problemática considerada e os materiais elaborados, que concretizam essa ideia, iremos apresentar o projecto que resultou deste percurso e que visa responder à questão-problema formulada no capítulo 3.

#### **5.4 Planificação do Projecto "Em pista... ligado ao Sol"**

Começaremos por fazer uma breve descrição do projecto, identificando posteriormente os seus objectivos e fases e etapas deste.

### **5.4.1 Descrição do projecto**

O projecto, à semelhança da actividade AL 1.2, goza de alguma flexibilidade no que diz respeito ao momento da sua implementação. Deste modo, a planificação do projecto está elaborada de forma a que o professor o possa aplicar em qualquer momento.

A duração do projecto não é rígida, uma vez que depende da forma como é conduzido, ou seja, das tarefas que são delegadas nos alunos e da abertura versus condicionamento dessas mesmas tarefas.

O projecto “Em pista... ligado ao Sol” consiste no desenvolvimento de um pequeno carro, unicamente movido a energia solar fotovoltaica e da respectiva pista onde irá decorrer a corrida que servirá para testar qual o sistema carro solar-pista mais eficiente. Desta forma, os alunos irão estudar a influência de alguns factores na eficiência de um módulo fotovoltaico e qual a forma de otimizarem a sua colocação no carro, preparando-o para a corrida, tendo ainda como tarefa adequar algumas das características da pista que condicionam o bom funcionamento das células fotovoltaicas, como a cor dos túneis aí existentes e as suas posições na pista. A corrida deverá realizar-se no exterior, num local e data a acordar e a ordem de chegada dos carros participantes será aferida através da mediação dos respectivos tempos de corrida.

#### **Objectivo geral**

Estudar a influência de vários factores no funcionamento de uma célula fotovoltaica de forma a maximizar a eficiência do sistema carro solar-pista.

#### **Objectivos específicos**

1. Caracterizar o funcionamento de uma célula fotovoltaica e suas curvas características;

2. Desenvolver o conceito de eficiência do carro, tendo em consideração que a limitação de potência eléctrica fornecida pelas células FV, depende de diversos factores.
3. Conceber as condições de colocação da célula no carro e as opções relativamente à pista:
  - 3.1 Delinear a investigação
    - 3.1.1 Estudar os factores de que depende a eficiência de uma célula fotovoltaica, tendo em consideração a questão-problema:
      - Identificar os factores (resistência de carga, intensidade da radiação incidente, c.d.o. da radiação incidente, ângulo de incidência);
      - Conceber as actividades experimentais que permitam estudar a relação entre cada factor a considerar e a eficiência da célula;
      - Realizar as actividades experimentais, obedecendo a um rigoroso controlo de variáveis;
      - Fazer registos, interpretar resultados e tirar conclusões.
    - 3.1.2 Identificar os factores de que depende a eficiência do carro.
  - 3.2 Extrair respostas para a questão-problema ou redelinear a investigação.
  - 3.3 Utilizar os resultados experimentais para decidir acerca das opções sobre a colocação da célula no carro e relativamente às condições da pista.
  - 3.4 Apresentar outras propostas que permitam aumentar a eficiência do produto final.
    - 4.1 Preparar e realizar a corrida.
    - 4.2 Discutir os resultados obtidos na corrida face às decisões tomadas e/ou face ao resultados esperados;
5. Elaborar o *logbook* do projecto;
6. Apresentar o trabalho desenvolvido à comunidade, focando o processo e o produto final, adequando o formato à audiência e aos objectivos.
7. Elaborar, individualmente, uma memória descritiva do processo e produto realizado fundamentando as opções e comentando os resultados obtidos na corrida, avaliando o processo e produto, tendo em conta os objectivos.

A questão que se coloca acerca da eficiência do sistema carro-pista terá que ser analisada conjuntamente com o regulamento criado, quer para a montagem do carro, quer para a construção da pista

---

## Regulamento

### Construção do carro:

- São fornecidos a todos os grupos participantes os materiais necessários para a construção do carro: o motor e o módulo fotovoltaico, entre os restantes materiais para a construção do carro. Os materiais fornecidos são iguais para todos os grupos.
- A carroçaria do carro é opcional. Podem utilizar outros materiais para além dos fornecidos inicialmente, personificando o carro através dos acabamentos, forma, cor ou dimensões.
- A única fonte de energia utilizada deverá ser o Sol e não são permitidos mecanismos electrónicos/ eléctricos de armazenamento de energia.
- A parte mecânica não deverá ser alterada e cabe ao grupo gerir como colocar o módulo no carro solar.

A figura 5.11 mostra exemplos de carros feitos com materiais sugeridos pelos alunos.



### Construção da pista:

- A pista é constituída por um tapete de borracha, sobre o qual assenta um carril de plástico, sem curvas, onde deslizará o carro. O ponto de partida e de chegada deverão estar à mesma altura (cota).
- O posicionamento/orientação da pista não é pré-definida, ficando ao critério de cada grupo.
- Na pista os grupos colocarão obrigatoriamente cinco túneis de dimensões conhecidas: dois pretos opacos e quatro coloridos (utilizando três cores diferentes).



Figura 5.12 – Fotografia das pistas montadas pelos alunos

O projecto envolve conhecimentos de diversas áreas, nomeadamente:

**Física:** Remete para diversos conceitos físicos e para a experimentação como meio para a compreensão da influência de vários factores na eficiência de uma célula fotovoltaica e da forma como se inter-relacionam.

**Ambiente:** A análise das vantagens e desvantagens desta tecnologia e aplicações, permite atribuir importância à possibilidade de converter a energia solar em energia eléctrica, preterindo a utilização dos combustíveis fósseis na produção de electricidade. Permite relevar o contributo desta tecnologia para a redução de emissão de gases de efeito de estufa e para o aumento da produção de electricidade através de energias renováveis indo ao encontro dos compromissos Internacionais e das directivas da União Europeia.

**Língua Portuguesa e Tecnologias de Informática e Comunicação (TIC):** A análise de resultados experimentais requer a utilização de um software adequado (*Excel*) e a apresentação do projecto pode ainda passar por uma apresentação oral cujo suporte seja desenvolvido utilizando o “*Power point*”. Na fase de pesquisa apela-se a diversas competências associadas à compreensão e tratamento da informação. As produções escritas (*logbook* e memória descritiva) e a apresentação oral de apresentação do projecto, bem como a produção dos seus suportes, permitem desenvolver competências relacionadas com a transmissão de informação e com a Língua Portuguesa.

**Matemática:** Recorre-se a conhecimentos e competências requeridos nesta disciplina, nomeadamente, a construção e interpretação de gráficos, bem como, na compreensão das relações entre grandezas físicas explicitadas por equações matemáticas.

**Sociedade:** A utilização da energia solar fotovoltaica surge essencialmente em locais remotos ou distanciados da rede eléctrica, situações em que as populações se defrontam com problemas bem distintos dos centros urbanos e que se prendem com necessidades básicas, como a necessidade de bombear água para consumo ou manter vacinas a temperaturas adequadas. Nos meios urbanos a sua utilização justifica-se pela necessidade da utilização de energias com menor impacto ambiental do que as tradicionais.

#### 5.4.2 Fases e etapas do projecto

Podemos considerar a existência de três fases ao longo do projecto:

**i) Apresentação,** na qual se faz a contextualização científica e social do tema do projecto e se propõe o problema. Esta fase revela-se de grande importância, uma vez que é fundamental que os alunos se apropriem do problema que lhes é apresentado, de forma a garantir o sucesso do Trabalho de Projecto. Estima-se para esta fase cerca de duas aulas de 45 minutos, que podem decorrer paralelamente à unidade temática.

**ii) Investigação,** correspondendo ao processo de resolução do problema proposto. Estima-se para esta fase um mínimo de duas aulas de 90 minutos destinadas a trabalho experimental.

**iii) Concretização,** em que os alunos irão testar e apresentar o produto final. Estima-se para esta fase uma aula de 90 minutos (poderá ocorrer num momento extra aula).

**Duração total do projecto:** um mínimo de três aulas de 90 minutos + momento para preparação e corrida + momento para apresentação do projecto à comunidade. Os momentos de preparação da corrida e de apresentação do projecto podem decorrer exteriormente às aulas. A figura 5.13 da página 208 descreve as várias etapas das fases referidas e que a seguir se descrevem:

##### **i) Fase de apresentação:**

- *Apresentação do tema e do projecto*, onde o professor faz uma contextualização da problemática energética, numa perspectiva essencialmente ambiental, remetendo para a necessidade do estudo e desenvolvimento das tecnologias associadas às energias renováveis, introduzindo o projecto “Em pista...ligado ao Sol”.

Apresentação do projecto inclui a apresentação do problema, dos recursos disponibilizados, apresentação das fases do projecto, calendarização de alguns momentos e formas de avaliação (fazendo referência à importância da utilização do *logbook* como local de registos a efectuar ao longo do percurso vivenciado).

- **Contacto com os materiais**, decorrerá após a apresentação do tema e do projecto. Os alunos recebem o *kit* para construção do carro fotovoltaico e o *logbook*.

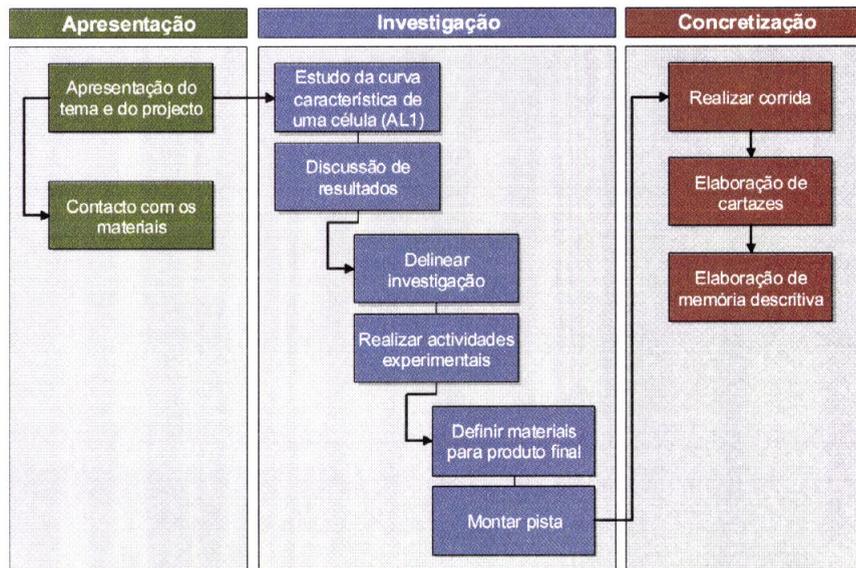


Figura 5.13 – Fases e etapas do projecto

## ii) Fase de investigação:

- **Estudo da curva característica de uma célula (AL1)**: trata-se da primeira actividade experimental de carácter laboratorial a realizar pelos alunos, na qual se pretende que se familiarizem com a curva que caracteriza o funcionamento de uma célula fotovoltaica e com a montagem procedimentos experimentais a efectuar no estudo da resposta de um dispositivo fotovoltaico. Esta actividade é acompanhada de um protocolo experimental que consta do *logbook*, onde estão indicados os materiais e procedimentos necessários à sua realização.

- **Discussão de resultados**, na qual os vários grupos apresentam a análise e tratamento dos dados relativos à AL1.

- ***Delinear a investigação***, etapa na qual os alunos identificam quais as variáveis a estudar com base no problema apresentado, planificando um conjunto de actividades experimentais que lhes permitam compreender de que forma cada factor influencia a eficiência da célula fotovoltaica, considerando sempre a sua integração no sistema carro-pista. Será fornecida aos alunos, no seu *logbook*, uma *Folha de Planificação Geral do Projecto* e para cada actividade experimental a elaborar, uma *Folha de Planificação e Registo da Actividade Experimental* que têm como objectivo orientar o aluno na sua planificação e permitir o registo do seu percurso investigativo.

Ao longo de toda a fase de investigação, em paralelo com as etapas que aqui se definem, é fundamental que os alunos efectuem a pesquisa nas diversas fontes disponíveis (livros, *internet*) alguns conteúdos que se revelem importantes, quer para a compreensão do funcionamento das células, quer para responder a questões que se coloquem relacionadas com o problema proposto.

- ***Realizar actividades experimentais***, etapa na qual os alunos realizam as actividades experimentais por eles planificadas. Esta etapa deverá realizar-se em aulas de turnos, para que haja condições favoráveis à realização do trabalho experimental. Este trabalho é essencialmente de carácter laboratorial, podendo os grupos querer retirar valores experimentais no exterior, ao Sol.

- ***Definir materiais para o produto final***: após o estudo da influência de diversos factores que determinam o desempenho do carro fotovoltaico, os alunos devem definir como montar a célula no carro, que orientação deverá ter a pista e que túneis escolhem aí colocar e por que ordem. As decisões de cada grupo devem ser devidamente justificadas.

- ***Montar pista***: é a etapa na qual os alunos experimentam o funcionamento do sistema carro-pista, tal como o conceberam, tendo a oportunidade de testar e melhorar o seu desempenho, implementando alterações no carro ou na pista. Estas alterações terão de ficar registadas. Salienta-se que esta etapa poderá realizar-se fora das aulas, em momentos previamente combinados.

### **iii) Fase de concretização:**

- ***Realizar corrida***, etapa que pode ser encarada como o produto final e na qual se fica a conhecer o carro-pista mais eficiente.

As decisões acerca do carro e pista definidas na fase de investigação, não devem sofrer alterações, pelo que cada grupo deve montar o seu material tal como definiu nessa fase. Esta etapa contempla apenas a corrida e a discussão dos resultados desta.

Os carros devem iniciar a corrida ao mesmo tempo e o sistema de medição dos tempos irá aferir qual a sequência de chegada dos carros participantes. Recomenda-se que façam os registos das suas observações e tirem fotografias para utilizar na etapa seguinte.

- ***Apresentação do projecto***, será a etapa que corresponde à apresentação do produto final e do percurso investigativo efectuado. Esta apresentação poderá ser feita de formas diversas (exposição, cartaz, apresentação oral, *workshop*), sendo importante acordar inicialmente com os alunos e definir qual o público-alvo.

- ***Elaboração da memória descritiva***: trata-se de uma tarefa, que consta de um pequeno texto onde o aluno descreve o trabalho desenvolvido ao longo do projecto e deve ser realizado em situação de sala de aula. Na memória descritiva o aluno deve referir o problema colocado, descrevendo o percurso investigativo efectuado pelo grupo, nomeadamente, os factores estudados e de que forma influenciam o funcionamento do módulo e/ou do carro e, por fim, as opções realizadas e resultados obtidos na corrida. Poderão fazer os comentários relativos ao projecto ou dar sugestões de melhoramento relativas a qualquer uma das fases deste.

### **5.4.3 Guião do Professor**

As informações relativas à planificação, nomeadamente, a descrição do projecto, as suas etapas e descrição dos materiais, constam do "Guião do Professor", que constitui o anexo VII. Pretende-se com este guião, que qualquer professor possa ter acesso à informação necessária que lhe permita implementar o projecto desenvolvido.

Os materiais fornecidos e eventuais alterações no regulamento da corrida ou nas estratégias de sala de aula utilizadas irão determinar a abertura, extensão e grau de dificuldade do projecto implementado, cabendo a cada professor adaptar consoante o grupo turma em questão e tempo disponível.

## **5.5 Implementação do Projecto "Em pista... ligado ao Sol"**

A implementação do projecto em sala de aula pretende ser mais um passo na construção do projecto do professor. Por um lado, como motivação para a concepção de materiais de apoio ao projecto e por outro, como um momento privilegiado para aferir estratégias e os recursos utilizados. De seguida descreveremos a abordagem realizada na implementação do projecto concebido.

### **5.5.1 Do Projecto do Professor ao Projecto do Aluno**

O projecto desenvolvido pelo professor até ao momento de o aplicar em sala de aula funciona como um projecto intenção que passará à acção aquando da sua implementação junto dos alunos. A sugestão que apresentamos neste trabalho, o projecto "Em pista... ligado ao Sol" funcionará como uma base de trabalho para cada professor que definirá o seu projecto, ao adaptá-lo às características da turma, da escola e às suas próprias, criando o seu projecto-intenção. Este dará lugar ao projecto implementado ou projecto-acção do professor e simultaneamente o início dos projectos do alunos, cujos percursos e produtos deverão ser diversos.

No caso deste projecto, espera-se que os produtos apresentem algumas similaridades, uma vez que parte das variáveis em estudo introduzidas na problematização levarão a respostas semelhantes entre os grupos.

A abertura do projecto do aluno é directamente condicionada pelo projecto intenção do professor: a maior definição dos materiais a utilizar (pré-definição do módulo fotovoltaico, do motor, da pista, dos túneis,...) e as regras relativamente à corrida (utilização de um ou mais módulos, o método de medição dos tempos, a forma da pista,...) e a forma como decorre a avaliação são algumas das questões a considerar e que determinarão, quer o tipo de percurso e de produtos, quer a duração do Trabalho de Projecto. É o mesmo que dizer que o nível de complexidade do projecto bem como a abertura deste dependem

directamente das considerações pré-definidas pelo professor, ou seja, do seu projecto intenção.

A integração deste projecto no programa, no contexto actual do 10.º ano de escolaridade obriga a que seja relativamente fechado uma vez que o professor terá de o implementar num número muito reduzido de aulas. Poderá ser facilmente adaptado para uma Área de Projecto do ensino básico ou do 12.º ano.

Iremos descrever as opções realizadas na implementação do projecto, tendo em consideração o que se disse anteriormente e descreveremos alguns momentos significativos dessa implementação.

A actividade foi aplicada a uma turma do 10.º ano, num conjunto de aulas leccionadas pela professora-investigadora, que funcionou como instrumento da recolha de dados. Desses registos e dos *logbooks* dos alunos, extraíram-se algumas evidências no que diz respeito às mais valias e dificuldades inerentes à proposta elaborada. Os registos realizados pretendem auxiliar a professora/investigadora na descrição e reflexão acerca do processo de implementação do projecto.

Este foi implementado com uma turma da escola onde a professora/ investigadora leccionou e que foi escolhida de acordo com a compatibilidade de horários e na sequência da disponibilidade da professora, que leccionava FQ A à referida turma em participar no projecto. A turma foi antecipadamente questionada acerca da possibilidade de realizarem o projecto "Em pista... ligado ao Sol" e mostrou-se igualmente disponível.

O projecto do aluno, visto como o projecto acção, não é singular, o que contradiria o próprio conceito de projecto, como algo se vai construindo. Contudo e para que o projecto aqui apresentado como resposta à nossa questão-problema, possa ser implementado foram criados alguns materiais, tais como os *slides* de apresentação do tema do projecto, o *logbook* do aluno e os materiais de carácter experimental. Descreveremos de seguida estes materiais.

Os recursos necessários e que estarão disponíveis para cada etapa estão definidos no quadro da figura 5.14.

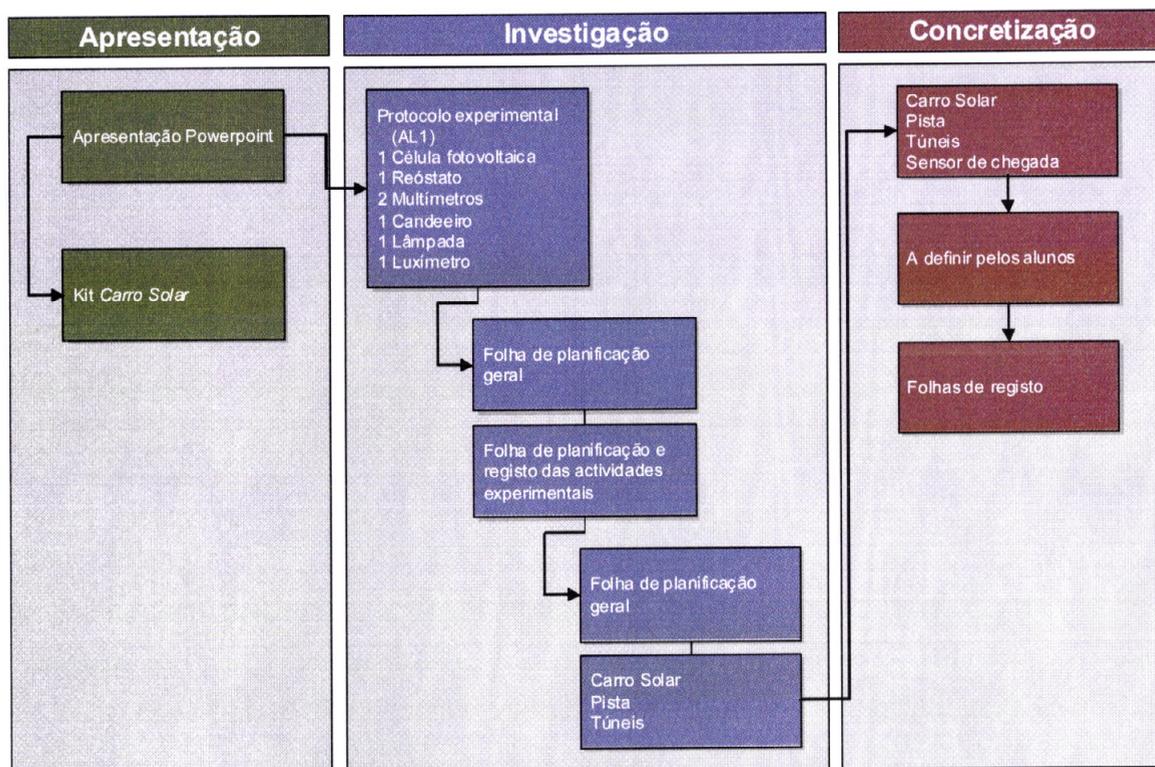
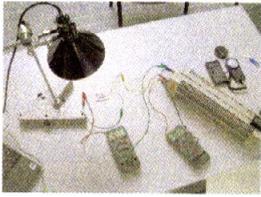


Figura 5.14 – Recursos pedagógicos a utilizar

### 5.5.2 Materiais de carácter experimental necessários à implementação do projecto

Dos materiais de carácter experimental necessários à realização do projecto, alguns são materiais correntes de laboratório, outros foram especialmente desenvolvidos ou adquiridos para a realização do projecto. Reúnem-se na tabela 5.1 os materiais de carácter experimental necessários para a sua implementação. Encontra-se informação mais detalhada sobre os materiais desenvolvidos no anexo VIII, nomeadamente os locais de compra e preços.

Tabela 5.1 - Lista do material de carácter experimental necessário à implementação do projecto

	Material	Descrição do material
<i>Materiais seleccionados / concebidos para a construção do carro FV e pista</i>		<b>Kit "carro solar"</b>  1 célula fotovoltaica de 1 V 400 mA 1 motor e restante material para construção do carro: rodas, eixos, elástico de transmissão.
		<b>Estrada</b>  Tapete de borracha (200X18) cm Placas de esferovite (200x18) cm
		<b>Calhas</b>  Calha em "U" para estrada (260 cm)
		<b>Túneis</b>  Peças de acrílico colorido de 3 mm de espessura, em forma de "U" (verde, vermelho e azul)
		<b>Filtros</b>  Peças de acrílico colorido (70x80X3) mm (verde, vermelho e azul)
		<b>Digitímetros e cabo de extensão para os digitímetros</b>
<i>Materiais correntes de laboratório</i>		<b>Montagem experimental</b>  1 computador, 1 painel fotovoltaico (igual ao do kit), 1 caixa de resistências ou reóstato (0-500) $\Omega$ , 2 multímetros, 1 candeeiro com lâmpada (100W), 1 luxímetro ou 1 fita métrica, fios condutores.

### 5.5.3 Outros materiais de apoio à implementação do projecto

A implementação do projecto pressupõe a concretização do dispositivo experimental que concretiza a ideia e um conjunto de materiais de apoio para a sua aplicação, dos quais se salientam os *slides* para uma sessão sobre o tema e de apresentação do projecto e o *logbook*.

#### 5.5.3.1 Slides para a Apresentação do Tema e do Projecto

Desenvolveu-se uma apresentação em formato *Powerpoint* para realizar uma sessão teórica introdutória sobre energia solar fotovoltaica e para introduzir o projecto. Os *slides* que constituem a apresentação encontram-se no anexo IX, dos quais de mostram dois na figura 5.15.

A apresentação que inclui os seguintes tópicos:

- 1 A situação energética mundial;
- 2 A situação energética de Portugal;
- 3 As energias renováveis;
- 4 A Energia Solar;
- 5 Conversão da energia solar em eléctrica: O Efeito fotovoltaico;
- 6 Apresentação do projecto.

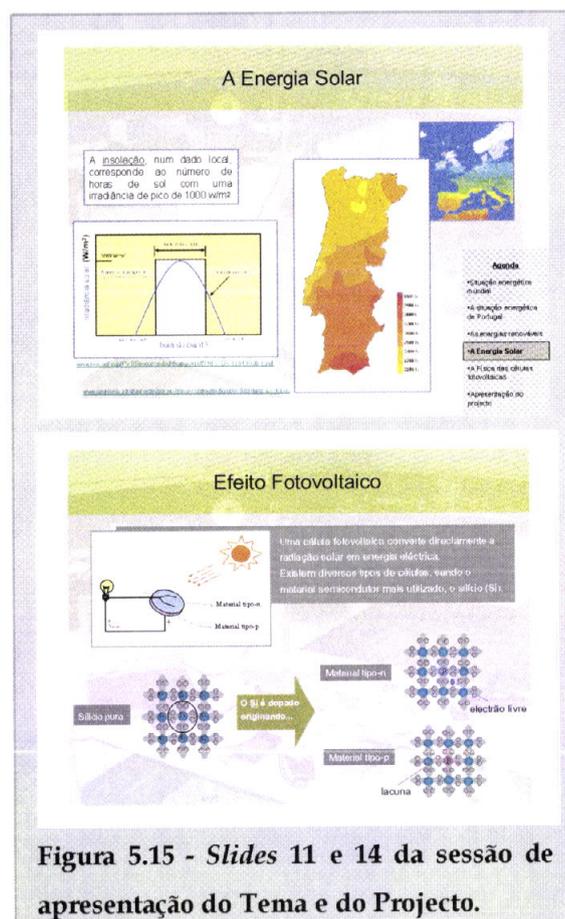


Figura 5.15 - Slides 11 e 14 da sessão de apresentação do Tema e do Projecto.

### 5.5.3.2 O Logbook

Como vimos, no capítulo 3, trata-se de um caderno onde os alunos devem registar tudo o que estiver relacionado com o Trabalho de Projecto, como se um diário de bordo se tratasse. O *logbook* concebido, que constitui o anexo XI, inclui um conjunto de folhas informativas, protocolos e folhas registos que designámos por "organizadores do projecto".

A seguir descrevem-se os materiais que constituem o *logbook* concebido para o projecto "Em pista... ligado ao sol", nomeadamente, os "organizadores do projecto".

O nosso *logbook* incluía:

1. Capa
2. "Este pequeno caderno..." (primeira página)
3. Índice;
4. Referência a alguns *sites* sobre energia solar fotovoltaica e o correio electrónico da professora para esclarecimento de dúvidas relacionadas com o projecto;
5. Organizadores do projecto:
  - A) O Guião do aluno;
  - B) O Protocolo da Actividade Experimental 1: Estudo da curva característica de uma célula fotovoltaica;
  - C<sub>1</sub>) Folhas de planificação do projecto e registos;
  - C<sub>2</sub>) Folhas de planificação das actividades experimentais e registos (2)
6. Folhas em branco;
7. Folhas para registo da "Memória Descritiva" do projecto.

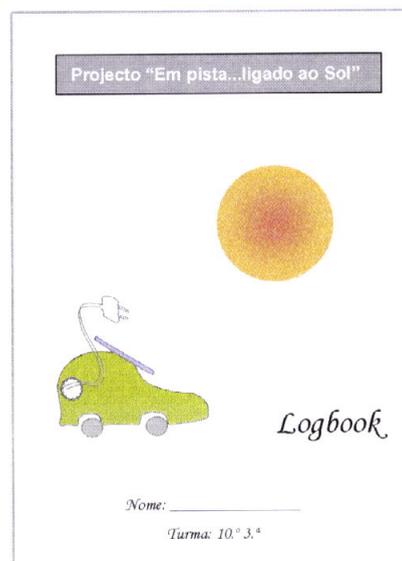
#### **1. O exterior do *logbook*: capa**

As dimensões do *logbook* foram pensadas de forma a que se tornasse suficientemente pequeno para acompanhar regularmente o aluno, à semelhança de um diário, e que, conseguisse por outro lado, oferecer espaço suficiente para comportar diversos tipos de registo, nomeadamente, os protocolos experimentais, os registos e tratamento de dados,

elementos de pesquisa como recortes de imprensa ou de documentação de actividades, como fotografias, pelo que se optou pelo tamanho A5.

A capa contém o nome do projecto “Em pista... ligado ao Sol” e o logótipo criado, bem como a identificação do aluno e da turma (figura 5.16).

A identificação do aluno é fundamental e deve ficar bem visível. Relativamente ao logótipo, este poderá ser desenvolvido pelos alunos caso haja tempo disponível para essa tarefa, que poderá contribuir para que os alunos se envolvam no projecto. No contexto em que a actividade AL 1.2 surge, optámos por sermos nós a concebê-lo



**Figura 5.16 - Capa do logbook**

Houve uma preocupação estética na concepção do *logbook*, procurando que se tornasse apelativo para além de prático. Procurámos estabelecer uma continuidade em relação aos materiais e aos elementos utilizados no projecto. Deste modo, quisemos utilizar materiais com transparências e cor e incluir o logótipo criado que ilustra o tema e a denominação atribuída ao projecto, em que o Sol tem o destaque que se impõe.

## **2. "Este pequeno caderno..."**

O *logbook* inicia-se com um pequeno texto que visa definir o que é o *logbook*, relevar a sua importância e esclarecer que anotações devem ser feitas neste pequeno caderno, de forma a que este seja percebido pelos alunos como algo que os deve acompanhar sempre que possível e onde devem constar todos os registos relativos ao projecto.

Ainda nesta primeira página (figura 5.17) reserva-se espaço para que o aluno identifique os colegas que constituem o grupo de trabalho.

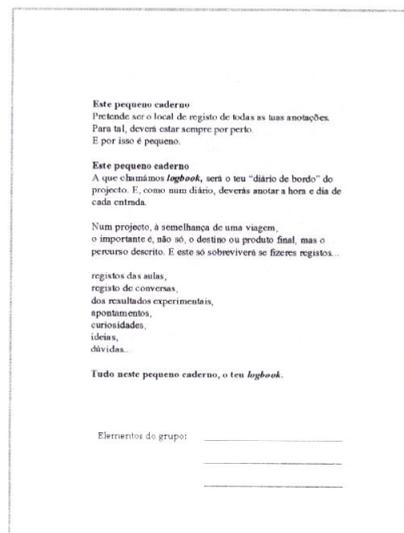
### 3. Alguns sites sobre energia solar fotovoltaica

Sugerem-se alguns sites, sobre energia solar fotovoltaica, que permitirão ao aluno dar início à sua pesquisa sobre o assunto, motivando-o para o tema do projecto. É ainda fornecido o endereço electrónico da professora investigadora, de forma a criar uma via alternativa para esclarecimento atempado de dúvidas. A lista de endereços electrónicos sobre o tema do projecto foram seleccionados pelo seu interesse e pelo rigor com que tratam a informação.

### 3. Índice

De seguida, surge o índice, que permite ao aluno visualizar a estrutura do *logbook*, acedendo facilmente aos diferentes documentos disponibilizados. Existe uma parte do índice por completar, que diz respeito, às páginas em branco do *logbook* cuja utilização será gerida pelo aluno. À medida que forem organizando e preenchendo o seu *logbook* completarão o respectivo índice. Serão deste modo, os alunos a criar as secções que mais lhes pareçam convenientes.

O índice e a paginação são tarefas que poderão ser entregues aos alunos, para os envolver no processo de gestão da informação do seu *logbook*, promovendo um primeiro contacto comos materiais aí existentes.



**Figura 5.17 - Imagem da primeira página do logbook: “Este pequeno caderno...”**

## 5. Organizadores do projecto

A inclusão do “guião do aluno” e das “folhas de registos” teve como objectivo reunir no *logbook* toda a informação, quer a fornecida pelo professor quer a obtida pelos alunos ao longo do projecto, centralizando a informação e facilitando a sua consulta. O aluno poderá conhecer o trajecto delineado, orientando as suas pesquisas e planeando as actividades, ao ritmo que melhor se ajuste.

### A) Guião do aluno

O primeiro documento organizador do projecto inserido no *logbook* é o “Guião do aluno” que contextualiza e introduz o tema da “energia solar fotovoltaica”, apresenta a questão-problema e o objectivo do projecto, enumerando e descrevendo as tarefas a realizar ao longo deste.

Inicia-se o guião com um exemplo que apresentamos na figura 5.18, que pretende destacar algumas vantagens da utilização da energia solar fotovoltaica, nomeadamente, ser uma fonte de emissão zero e cujo funcionamento é silencioso.

Sabias que...

Se num ano um condutor andar cerca de 10.000 km, será responsável pela emissão de 2 ton de CO<sub>2</sub>!  
(considerando um consumo de aproximadamente 8 L/100 km)



Se, por um lado, os nossos veículos emitem para a atmosfera gases de efeito de estufa, por outro, são uma fonte de poluição sonora. Então, que soluções existirão?

**Figura 5.18 - Imagem contexto para introdução do tema do projecto, extraída do logbook, p.7.**

Se seguida, apresentam-se no quadro da figura 5.19 (retirado do *logbook*) a sequência das tarefas a realizar, bem como a informação que é disponibilizada no *logbook* e os registos que aí deverão ser realizados.

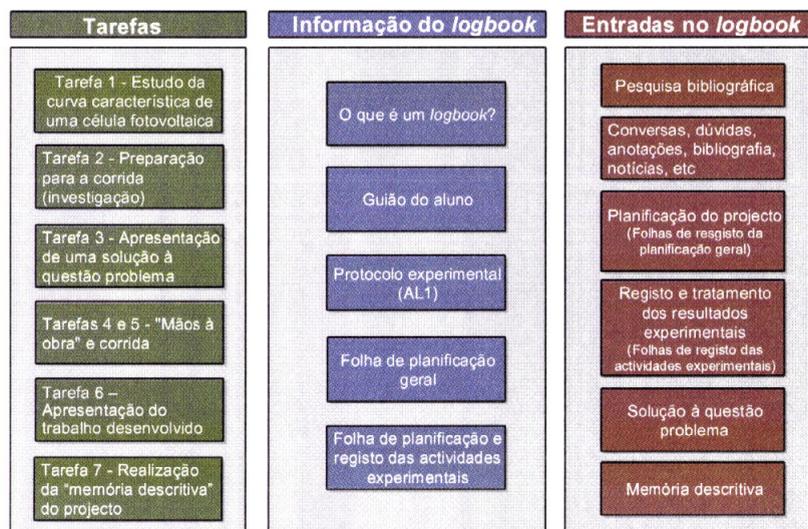


Figura 5.19 – Tarefas do projecto e informação existente e a registar no logbook, extraído do logbook

**Regulamento da corrida**

**Sobre a corrida:**

A corrida realizar-se-á no exterior, num local e data a acordar e será conhecida a ordem de chegada dos carros participantes, através da medição do tempo que decorre entre o instante de partida e o de chegada de cada carro, utilizando um digitmetro por pista.

**Sobre a construção do carro:**

- \* Cada grupo receberá o material necessário para a construção do carro e que consiste numa caixa que contém o kit solar, incluindo, entre outras peças, um motor eléctrico e uma célula fotovoltaica. Os materiais fornecidos são iguais para todos os grupos. Poderás solicitar uma segunda célula.
- \* A carroçaria do carro ficará sujeita a vossa imaginação. Podem utilizar outros materiais para além dos fornecidos inicialmente, personalizando o carro através dos acabamentos, forma, cor ou dimensões.
- \* A parte mecânica não deverá ser alterada, cabendo ao grupo gerir apenas como colocar o motor e célula(s) no carro.
- \* O carro mover-se-á na pista apenas "ligado" ao Sol e não serão permitidos mecanismos electrónicos/ eléctricos de armazenamento de energia.

**Sobre a pista:**

- \* A pista é constituída por um tapete de borracha, sobre o qual assenta um carril de plástico, sem curvas, onde deslizará o carro. O ponto de partida e de chegada deverão estar a mesma altura (cota).
- \* Na pista irão dispor obrigatoriamente seis túneis de dimensões conhecidas: dois pretos opacos e quatro coloridos. Os túneis coloridos fornecidos são translúcidos e existem nas seguintes cores: azul, vermelho e verde. O comprimento de cada túnel colorido é de 30 cm e de cada túnel preto de 20 cm.

Figura 5.20 - Regulamento da corrida, extraído do logbook

Para delinarem as suas investigações, de forma a responderem à questão-problema que se coloca, é fundamental que os alunos conheçam bem o regulamento da corrida, que se encontra nas páginas 12 e 13 do logbook (figura 5.20).

As regras aqui estabelecidas delimitam a investigação e definem as variáveis a estudar laboratorialmente pelos alunos, indo ao encontro dos objectivos estabelecidos.

### ***B) Protocolo da Actividade Experimental 1: Estudo da curva característica de uma célula fotovoltaica***

Segue-se o protocolo da primeira actividade experimental de carácter laboratorial, que consiste no estudo da curva característica da célula fotovoltaica, que permitirá aos alunos familiarizar-se com o funcionamento deste dispositivo, com a montagem e procedimentos experimentais inerentes ao estudo das características das células fotovoltaicas. Sendo este o único protocolo experimental fornecido aos alunos, foi aí incluído o fundamento teórico sobre o funcionamento das células fotovoltaicas, contendo informação relevante não só para a primeira actividade experimental, como para o projecto, em geral. O registo e a análise de resultados deverão ser feitos no *logbook* ou introduzidos posteriormente, no caso de serem realizados informaticamente.

Após a realização desta primeira actividade, torna-se viável solicitar aos alunos que concebiam outras actividades experimentais que lhes permitam compreender em que condições poderão obter o máximo de eficiência das células fotovoltaicas.

### ***C) Folhas de planificação e registos***

A estrutura das folhas de planificação do projecto e das actividades experimentais, que a seguir se apresentam, foram inspiradas, nas folhas designadas por “Folhas de planificação e registos” utilizadas por Teixeira (2003), num estudo sobre trabalho laboratorial de natureza investigativa. Nesse estudo concluiu-se que estas folhas representavam, para os alunos “uma ajuda na planificação” e “que facilitava os registos e realização do relatório” e, por outro lado, as professoras envolvidas na investigação haviam destacado a sua importância na organização das ideias dos alunos antes de iniciarem a actividade.

Sentimos a necessidade de criar duas folhas de planificação, uma para a planificação global do projecto e outra para a planificação das actividades experimentais que os alunos irão planificar e realizar relativas aos factores a estudar, para dar resposta à questão problema do projecto.



Após a realização da actividade experimental o aluno deverá registar, ainda na folha de planificação do projecto, as conclusões obtidas e mencionar os materiais que irão necessitar para implementar a solução que propõem para a questão-problema.

### C<sub>2</sub>) Folhas de planificação das actividades experimentais e registos

Estas folhas têm como objectivo orientar o aluno na planificação e na realização das actividades experimentais que lhes permitirão concluir acerca da influência de alguns factores no funcionamento das células fotovoltaicas.

Mostram-se na figura 5.22 as folhas de planificação das actividades experimentais. Foram introduzidas no *logbook* duas destas folhas referentes a duas actividades experimentais a definir pelos alunos.

FOLHA DE PLANIFICAÇÃO DAS ACTIVIDADES EXPERIMENTAIS E REGISTOS	
Nome da actividade experimental:	
Nesta actividade pretendemos estudar...	
Apresentamos o esquema da montagem...	Como iremos realizar a actividade experimental...
Material de que iremos necessitar...	Para assegurar bons resultados teremos de controlar...
A(s) grandeza(s) que tens de medir...	
A(s) grandeza(s) que tens de calcular...	
Esboço da(s) tabela(s) a utilizar para os registos.	
As tabelas de registo e os gráficos serão anexadas a esta folha de registos.	
Desta actividade concluímos que...	
Em relação ao sistema carro-pista optámos, desta forma, por...	

Figura 5.22 - Folhas de planificação das actividades experimentais e registos, extraído do logbook

O *logbook* inclui duas folhas de planificação das actividades experimentais, uma vez que se espera que os alunos efectuem o estudo de pelo menos dois factores distintos. Através do preenchimento destas folhas os alunos irão inicialmente delinear a actividade e posteriormente fazer o registo de dados e seu tratamento, bem como apresentar as conclusões da actividade.

A função do *logbook*, para além de fornecer materiais de suporte à investigação, é a de permitir um registo do percurso delineado pelo aluno ao longo do seu trabalho, para além do produto final. Por este motivo, disponibiliza-se espaço em branco para os mais variados registos.

## **6. Folhas em branco**

Para os alunos gerirem como entenderem, de forma a introduzirem os registos, de preferência segundo uma organização pensada antecipadamente.

## **7. Memória descritiva**

A última parte do *logbook* reserva-se para a chamada “Memória Descritiva” do projecto e destaca-se pelo colorido das suas páginas. Esta permitirá ao leitor conhecer a visão do aluno acerca do percurso e produto do trabalho desenvolvido pelo seu grupo e traduz um momento de reflexão sobre o trabalho desenvolvido, constituindo um contributo para a avaliação formativa e de auto-avaliação.

### **5.5.4 Descrição de alguns momentos relativos à implementação do projecto**

Foi feito um registo da forma como decorreram as aulas relativas à implementação do projecto, nomeadamente das reacções dos alunos, questões levantadas e principais dúvidas detectadas.

Uma vez a professora/investigadora participou activamente nos vários momentos de aplicação do projecto, não tendo tido o papel de mera observadora, não lhe foi permitido fazer os registos das observações no momento. Desta forma, o registo dos acontecimentos foi feito posteriormente, relevando o mais pertinente de cada, em situação de sala de aula, ou nos momentos de trabalho extra-aula.

#### 5.5.4.1 Primeira aula: Aula de introdução ao projecto

Esta aula teve como objectivo contextualizar o tema do projecto, a energia solar fotovoltaica, introduzindo algumas noções base para a compreensão do funcionamento das células fotovoltaicas. Na segunda parte da aula foi introduzido o projecto, tendo sido entregues os materiais necessários para que o projecto se iniciasse, o *logbook* e o *kit* do carro fotovoltaico.

Os *slides* da referida aula encontram-se anexo VII, tendo sido abordados os seguintes conteúdos, já mencionados:

- A situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- A Energia Solar
- A Física das células fotovoltaicas
- Apresentação do projecto

A situação energética mundial e de Portugal e as energias renováveis já haviam sido abordadas nas aulas como previsto no programa, pelo que as considerações foram breves e os alunos não revelaram quaisquer dúvidas. A energia solar fotovoltaica era o tema que seria abordado pela primeira vez e relativamente ao qual podemos referir que:

Os alunos conhecem algumas das aplicações das células fotovoltaicas, nomeadamente, nas máquinas de calcular, nos parquímetros, nos sinais de trânsito e nos telefones SOS. As restantes aplicações de maior potência não foram mencionadas pelos alunos, embora reconheçam a sua aplicação, por exemplo, na exploração espacial. Dos exemplos

---

mencionados pelos alunos, aquele que todos conhecem, são módulos fotovoltaicos utilizados nos parquímetros existentes nas ruas que circundam a escola, embora não soubessem até então do que se tratava concretamente ou como funcionavam. Nenhum aluno mencionou a utilização desta tecnologia para obtenção de energia eléctrica em casa. Quando a professora/investigadora questionou os alunos se tinham tido conhecimento da vinda do “*Nuna IP*” ao Porto, aquando do início do EURO 2004, disseram que não. Foi-lhes mostrado então, a fotografia deste carro solar, o trajecto que realizou para atravessar a Europa e a velocidade média desse percurso. Os alunos mostraram-se bastante surpreendidos com tal experiência.

Descreveu-se a constituição de um sistema fotovoltaico, para uma casa de habitação. Relativamente a esta utilização os alunos mostraram-se cépticos, levantando diversas questões:

- quais os custos;
- que energia poderiam fornecer;
- se se poderia utilizar os mesmos aparelhos que em nossas casas;
- o que fazer, caso não houvesse sol;
- quantos painéis seriam necessários.

Parte destas questões, nomeadamente a área de painéis necessária e custos, ficaram respondidas através da aplicação informática de permite simular tais valores em função da energia necessária numa casa e tendo em consideração a localização geográfica desta (a simulação encontra-se no anexo VI).

Os alunos compreenderam genericamente o efeito fotovoltaico, tendo sido então analisados alguns dos factores que influenciam a eficiência das células. Apresentaram contudo, muitas dificuldades na interpretação do gráfico intensidade versus corrente, que caracteriza o funcionamento da célula fotovoltaica. Neste situação, as dificuldades surgiram, em grande parte devido ao facto dos alunos não terem apreendido os conceitos fundamentais de intensidade da corrente, d.d.p., potência útil, potência fornecida e energia, apesar de terem sido leccionados no 9.ºano e revisitados no presente ano lectivo, por serem necessários na actividade experimental “Rendimento no aquecimento”, que é anterior à que aqui se trata.

Em relação ao projecto, os alunos mostraram algum entusiasmo, principalmente pelo facto de irem montar o carro e realizar uma corrida com ele. O *logbook* atraiu os alunos

visualmente e passou a ser o guia de trabalho, onde foi solicitado que começassem por ler o “Guião do aluno” e protocolo da actividade 1, para prepararem a primeira actividade experimental. Como já foi referido, foram entregues nesta primeira aula os *kits* para a montagem dos carros, o que tinha como principal objectivo motivar os alunos, que poderiam desde então colocar as “mãos na massa”. Foi entregue uma folha com indicações sobre a montagem, sendo referido que poderiam colocar alguma imaginação na sua construção desde que seguissem o regulamento da corrida. Do material incluído no *kit*, aquele que teria de ser obrigatoriamente utilizado seria o motor e o módulo fotovoltaico, que se pretendiam iguais entre os grupos, enquanto os restantes materiais poderiam ser propostos pelos alunos.

#### 5.5.4.2 Segunda aula: Estudo da curva característica de uma célula fotovoltaica

Tratou-se de uma aula experimental de carácter laboratorial cujo objectivo era estudar a curva característica da célula fotovoltaica que se iria utilizar no carro solar. Pretendia-se que os alunos se familiarizassem com a curva característica de uma célula e compreendessem como varia a potência por ela fornecida com a resistência de carga. As primeiras dificuldades que os alunos apresentaram foram na montagem do circuito, que constava do protocolo. A ligação dos multímetros no circuito, funcionando um como voltímetro ou o outro como amperímetro revelaram uma panóplia de dificuldades: não sabiam onde ligar os fios nos multímetros, desprezavam a polaridade e a escala a utilizar. Surgiram igualmente dificuldades na construção das tabelas para registo dos dados.

Para que os alunos pudessem na própria aula visualizar os gráficos que esperariam obter, utilizou-se um computador ligado a um projectador para ir projectando os dados recolhidos por um dos grupos e o tratamento destes. Desta forma foi possível fazer uma análise dos gráficos obtidos, potência versus resistência, intensidade versus tensão e potência versus tensão, estabelecendo-se as relações pertinentes entre eles. O processo agradou os alunos, que puderam visualizar com bastante rapidez os resultados do trabalho experimental, sendo ainda possível discutir perante a turma algumas questões inerentes a este, como a necessidade de desprezar dados ou repetir ensaios. Os alunos do primeiro turno que haviam utilizado o computador para inserir os dados recomendaram ao colegas do turno seguinte que a melhor mesa era a do computador, revelando que a utilização do computador era

mais cómodo e rápida, ficando com o tratamento de dados já feito e talvez pelo agrado de puderem mostrar à turma as curvas obtidas, partilhando o seu trabalho.

Após a realização desta actividade, reservou-se algum tempo para esclarecer dúvidas relativamente às actividades experimentais que se esperava que os alunos planificassem, de forma a estudarem os factores que iriam, nas condições da corrida, influenciar o desempenho do carro. Os alunos ainda não tinham dúvidas pois não tinham ainda dedicado tempo a essa planificação. Os alunos identificaram os factores “ângulo da radiação incidente” e “filtros” como dois factores que podiam ser por eles controlados nas opções a tomar: por um lado, acerca da melhor forma de colocar a célula no carro e, por outro, para saber que túneis escolher para a pista.

#### 5.5.4.3 Terceira aula: Aula experimental

Esta aula esteve destinada à realização das actividades experimentais que os alunos considerassem pertinentes realizar para darem resposta à questão-problema que se coloca. Para tornar o procedimento experimental mais simples, recomendou-se que estes estudassem como variava a corrente de curto-circuito com o factor em causa, uma vez que a potência é proporcional à corrente de curto-circuito e procurar as condições para quais a potência é máxima corresponde a procurar o ponto em que a intensidade de curto-circuito é máxima. Esta explicação foi feita à turma, com base em gráficos da curva características obtidos experimentalmente para diferentes condições de iluminância. Os alunos estudaram a influência da interposição de filtros, o que não trouxe dificuldades. Revelam contudo poucos cuidados no controlo de variáveis, ou seja, atribuíam pouca importância à necessidade de manter as condições experimentais inalteráveis, o que se tornou mais evidente no estudo do ângulo, pois era necessário variar o ângulo, retirando as medidas adequadas para o calcular e manter sempre a mesma distância da lâmpada ao centro da célula, sem desviar a célula debaixo do candeeiro. Isto não era geralmente controlado, sendo geralmente preciso chamar à atenção dessa necessidade.

Nesta aula, alguns dos grupos trouxeram os carros fotovoltaicos praticamente montados e outros trouxeram o *kit* para montar na aula. Mantiveram-se ocupados algum tempo com os

carros até que a professora/investigadora salientou a importância de utilizarem a aula e o material disponibilizado para estudarem os factores que tornam a potência fornecida pela célula máxima, o que mostrou que contexto criado era foco de interesse. Os factores estudados nesta aula derivaram directamente da questão-problema e o tratamento dos dados destas actividades permitiu-lhes tomar algumas decisões quanto à melhor solução a apresentar. Os vários grupos de trabalho concluíram facilmente que a radiação deveria incidir perpendicularmente à célula e que a cor mais favorável para o filtro seria o vermelho, pelo que iriam escolher maioritariamente túneis vermelhos.

Com a sugestão de os alunos trabalharem com os valores da corrente de curto-circuito, os procedimentos foram simplificados, o que permitiu que os grupos após concluírem as actividades experimentais, retomassem a construção dos carros, ainda nesta mesma aula. Antes de lerem atentamente o regulamento da corrida, à medida que se iam apercebendo de algumas questões, iam perguntando/exclamando:

- “Podemos colocar dois motores? E duas células fotovoltaicas?”
- “...nós não queremos os túneis pretos!”
- “podemos fazer descidas? ... vamos os túneis vermelhos nas subidas e os pretos nas descidas!”
- “podíamos fazer um carro tão comprido, que quando a parte final estivesse a entrar no túnel a inicial já estava a sair! Assim não parava dentro do túnel”
- “vamos fazer a engrenagem com rodas dentadas...”
- “podemos por uns túneis por cima dos outros?”
- “dentro dos túneis pretos vai parar!”
- “podemos por duas células, uma virada para um lado, outra para outro”
- devíamos colocar o túnel preto no fim!”

Algumas destas opções não são permitidas, mas foram levantadas algumas questões pertinentes, das quais se destacam a possibilidade de construir subidas e descidas, bem como a ideia de associar duas células fotovoltaicas. A criatividade está presente nas propostas dos alunos, de que é exemplo a aluna que queria fazer o “carro muito comprido” para que nunca parasse nos túneis. Algumas destas ideias perderam-se, mas valeram pela idealização da situação e discussão em torno do assunto. No caso do grupo que se lembrou de colocar subidas e descidas, criou-se uma acesa discussão acerca da inclinação que

---

deveriam ter as subidas e as descidas, havendo quem defendesse que "se as descidas fossem muito inclinadas o carro ganharia mais velocidade". O local dos túneis era também vivamente discutido, sendo inquestionável que os pretos estariam nas descidas. A questão embaraçosa era como fazer as subidas e descidas. Salienta-se a tendência dos alunos para não lerem o que lhes é fornecido, tentando normalmente o caminho mais cómodo de irem questionando a professora sobre o que precisam de saber em cada instante.

Gostaríamos de referir que o facto de as regras da corrida serem apresentadas como algo predefinido teve a ver com a necessidade de melhor definir o projecto do professor, mas pensamos ser interessante que algumas das regras possam ser definidas na turma e consoante as suas características intrínsecas e motivacionais e do tempo disponível para o projecto. Um dos estudos de interesse, mas que não vai ao encontro do solicitado na actividade original, AL 1.2, seria que os alunos estudassem a associação de células e para tal bastaria permitir a utilização de mais de uma célula no carro solar.

#### 5.5.4.4 Preparação da corrida

Os vários grupos foram reunindo com a professora/investigadora de forma a testarem no exterior, a sua proposta para o sistema carro - pista. Nesta fase, os alunos sabiam quais os túneis que queriam utilizar na corrida, mas a sua disposição só foi pensada, na maior parte dos casos, quando davam início à montagem da pista. Antes de se montar o sistema de contagem do tempo, alguns dos grupos tiveram a iniciativa de levar um cronómetro para irem optimizando a sua proposta. A melhor orientação para a pista foi geralmente esquecida inicialmente, tendo a professora/investigadora questionado os alunos sobre o assunto. Através da sua própria sombra, os alunos ajustavam a posição da pista, orientando-a para o Sol, sendo necessário ir fazendo vários ajustes ao longo do tempo. Os alunos que tinham os carros mal ajustados, isto é, que ofereciam grande resistência à rotação dos eixos ou cuja célula tinha uma inclinação menos adequada, não conseguiam que estes atravessassem os túneis pretos, o que não já acontecia quando os carros estavam meticulosamente montados. Reconheceram facilmente que a sequência dos túneis era importante, apercebendo-se que o carro deveria passar por uma zona sem túneis ou com os "melhores" túneis, os vermelhos, para que adquirisse velocidade para conseguir passar

seguidamente um preto. Os grupos foram tomando notas das suas opções, para que no dia da corrida fosse apenas necessário montar os túneis escolhidos e segundo a sequência já estudada. Alguns grupos concluíram igualmente que havia vantagem em colocar os túneis pretos no final do percurso.

Durante estes ensaios, que se realizaram junto aos campos desportivos, várias pessoas se juntaram para apreciar o que se ia fazendo.

#### 5.5.4.5 Corrida

A corrida foi marcada para dia 22 de Junho, às 12 h, de forma a ser um dia próximo do solstício de Verão e quando o Sol se encontra mais alto. Pela manhã encontravam-se algumas nuvens no céu, o que sabíamos ser um entrave à boa realização da corrida, pois a potência fornecida pela célula fotovoltaica, com o céu encoberto, não é suficiente para fazer arrancar o motor do carro. A turma reuniu-se com alguma antecedência, por volta das 11 horas, para a montagem das três pistas e do respectivo sistema e medição do tempo. A esta hora o céu já se encontrava aberto, sem nuvens. As pistas foram orientadas na direcção do Sol, mas quando tudo estava montado foi necessário rodar as pistas, porque estas não tinham sido logo orientadas inicialmente para Sul, direcção onde estaria o Sol ao meio-dia. Havia uma bússola disponível, mas que foi desprezada. Os grupos quiseram fazer ainda alguns ensaios e procedeu-se de seguida à corrida, na presença de alguns alunos e professores da escola que vieram assistir. As tarefas foram feitas com bastante ânimo, mas com algum esforço por serem realizadas perante tais condições metrológicas, ideais apenas para o nosso carro que se move porque o Sol brilha.

#### 5.5.4.6 A utilização do *logbook*

Pensamos que o *logbook* não foi muito utilizado, havendo sido preenchido, em geral, apenas os campos essenciais. Referimo-nos às folhas de registos da planificação do projecto e das actividades experimentais, bem como à memória descritiva. Julgamos que a fraca utilização do *logbook* como local privilegiado para os vários registos ligados ao projecto de deve a diversos factores:

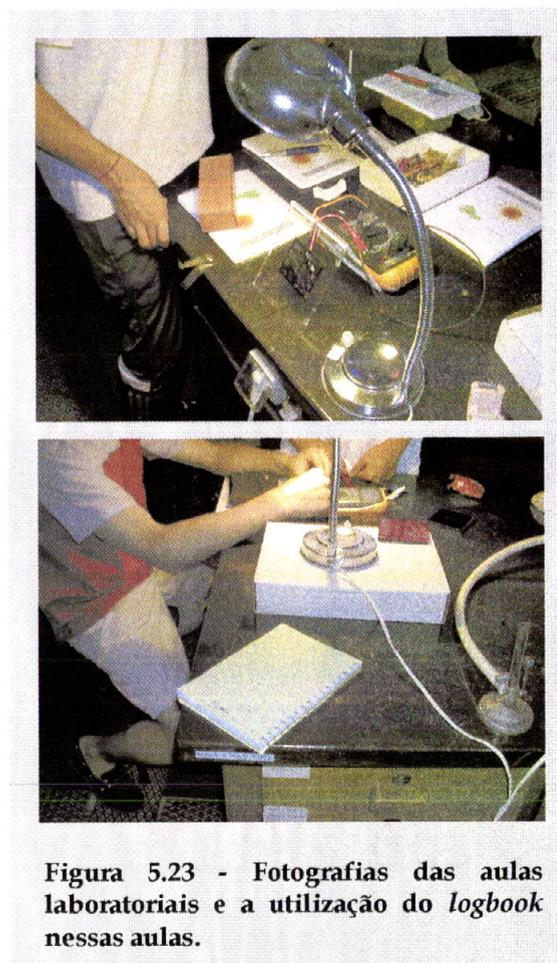
- Pouco tempo disponível para se dedicarem ao Trabalho de Projecto;
- O tempo destinado ao projecto, em contexto de sala de aula foi diminuto;

- Foi a primeira vez que os alunos utilizaram um *logbook* como instrumento de trabalho e avaliação;

Os alunos mostraram-se agradados com a utilização do *logbook*, como primeira reacção e traziam-no para as aulas, utilizando-o para fazer os registos experimentais. Geralmente, remetiam essa tarefa para um dos elementos do grupo apenas, ficando os restantes *logbooks* fechados, em cima da bancada, como mostra uma das fotografias da figura 5.23.

Em alguns *logbooks* encontrámos evidências de algum cuidado na sua utilização, bem como dedicação ao projecto:

- Os alunos agrafaram os apontamentos que tiraram na palestra proferida pelo Professor João Serra, que se realizou antes do início do projecto e que tinha como objectivo motivar os alunos para o tema;
- Colaram os tratamentos de dados realizados informaticamente e imagens;
- Apresentam desenhos dos carros que idealizaram como solução para o produto final e sugerem nomes para a equipa que participará na corrida.



**Figura 5.23 - Fotografias das aulas laboratoriais e a utilização do *logbook* nessas aulas.**

#### **5.5.5 O projecto "Em pista... ligado ao Sol" como solução à problemática considerada**

Após a análise da actividade AL 1.2 - Energia solar fornecida por um painel fotovoltaico, sistematizámos e fundamentámos as questões que nos pareciam inconsistentes e elaborámos a questão-problema que motivou o projecto do professor: "Que alterações introduzir na actividade AL 1.2 de forma a que ofereça rigor científico, que o contexto gere a actividade e que seja, ela própria, geradora de conhecimento físico, cumprindo as intenções do programa?"

Para que o projecto apresentado possa ser visto como uma solução à nossa questão-problema, deve traduzir as intenções do programa, pelo que começaremos por retomar os itens que caracterizam, a nosso ver, as intenções do programa e analisar se estas são eficazmente concretizadas através do projecto "Em pista... ligado ao Sol". Seguidamente e de forma a garantir o rigor científico e que o contexto e a estrutura da actividade permitem gerar conhecimento físico, iremos estabelecer uma comparação entre a actividade alternativa, ou seja, o projecto e a que o programa propõe, a AL 1.2., focando-nos nas questões que considerámos serem inconsistentes relativas a esta actividade.

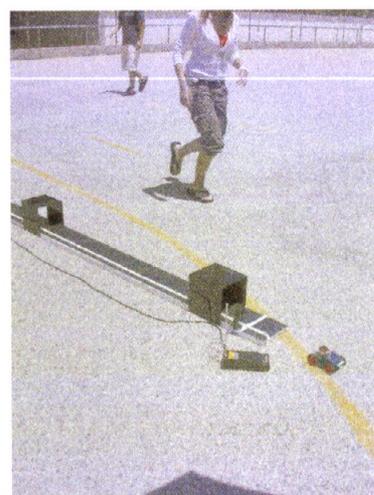
#### 5.5.5.1 O projecto "Em pista... ligado ao Sol" como resposta às intenções do programa de FQ A

Seguem-se os 5 itens considerados na análise das intenções da proposta curricular do 10.º ano de FQ A (ver página 114) e as nossas considerações sobre a forma como o projecto responde a cada um dos itens:

##### 1. O programa estabelece um tempo próprio para a componente experimental

Os 90 minutos destinados à actividade laboratorial sobre o tema ficam à quem do tempo necessário para a implementação do projecto, mas a possibilidade de se poderem realizar algumas actividades deste fora dos tempos lectivos, permite um tempo de dedicação ao tema e ao projecto minimamente satisfatório.

Pensamos que o envolvimento dos alunos no projecto é fundamental e permite que os alunos se disponham a realizar algumas actividades fora dos tempos lectivos. Isto prende-se com o facto de algumas actividades possuírem uma componente lúdica elevada, funcionando



**Figura 5.24 - Fotografia de parte da pista e um dos carros a terminar a sua prova**

ainda como motivação para a concretização das tarefas mais formais.

A figura 5.24 mostra um destes momentos extra-aula, no qual decorre a corrida final e pode visualizar-se a parte final da pista com os 2 túneis pretos, o digitímetro e o carro fotovoltaico a terminar a sua prova.

## 2. O programa perspectiva do trabalho experimental como um trabalho de natureza investigativa

O programa propõe que as actividades laboratoriais se concretizem a partir de uma questão-problema, que servirá de contexto e ponto de partida que motivará a realização da actividade e que esta se desenrole numa perspectiva de trabalho de natureza investigativa. O projecto "Em pista... ligado ao Sol" remete para o aluno as decisões de como proceder, que variáveis estudar, o que registar e a interpretação dos dados, delineando e redelineando o seu percurso investigativo na procura de uma possível resposta à questão-problema e desta forma, oferece um trabalho que envolve este tipo de actividade.

A planificação, realização e análise das actividades laboratoriais, o trabalho de pesquisa e de registo de todas as fases do percurso, a concepção e elaboração do produto e comunicação do trabalho desenvolvido, contribuem para que o aluno se familiarize com as características do trabalho científico, potenciando o desenvolvimento da criatividade e de atitudes de interesse para com a aprendizagem.

Ao contrário do que acontecia na actividade AL 1.2, em que a questão inicial não gerava a actividade o que levava a perspectiva de trabalho experimental sugerida no programa ficasse comprometida pela necessidade de um protocolo que remetesse para o estudo de variáveis como "a interposição de filtros". No projecto, a investigação é desencadeada pela QP.

### 3. O programa estrutura das actividades numa perspectiva de ensino contextualizado

No projecto apresentado é a questão-problema foca a atenção dos alunos e contextualiza a actividades a desenvolver, sendo que, o contexto surge no início e é ele que conduz os alunos no seu percurso de aprendizagem. É partindo do contexto que, quer os conceitos quer as ideias, são abordados e na sequência que o percurso tomado o exigir, pelo que julgamos que o projecto se desenvolve numa perspectiva de ensino contextualizado.

### 4. O programa remete para o enquadramento dos conceitos numa perspectiva CTSA

O contexto criado de um veículo que utiliza a energia fotovoltaica como tecnologia alternativa, remete para um problema do quotidiano dos alunos, que se deparam diariamente com os problemas que derivam do consumo crescente dos combustíveis fósseis em geral e nos transportes, em particular. A análise das suas consequências e de possíveis soluções passa pela compreensão das inter-relações ciência-tecnologia-sociedade-ambiente. Por outro lado, a apologia da tecnologia fotovoltaica remete ainda para a promoção de uma educação para a sustentabilidade.

### 5. O programa encara a componente prático-laboratorial como resposta à necessidade de elevar o nível de literacia científica

A realização do projecto apela ainda a um conjunto de conhecimentos e competências inerentes a diferentes áreas do saber, para além do conhecimento físico.

Contribui para a literacia científica, tecnológica e social e uma maior consciencialização ambiental, na medida em que dá a conhecer a tecnologia fotovoltaica, remetendo ainda para a questão do papel que se atribui a esta tecnologia nos nossos dias e num futuro próximo.

### 5.5.5.2 O projecto "Em pista... ligado ao Sol" como resposta inconsistências da actividade AL 1.2

No projecto "Em pista... ligado ao Sol" pretendeu-se ultrapassar as principais inconsistências que a actividade apresentava, de forma a garantir rigor científico e que o contexto gerasse a actividade. Retomámos, deste modo, as questões consideradas como problemáticas na actividade AL 1.2 e fomos analisar até que ponto o projecto lhes dava resposta.

#### *1. A questão-problema*

A questão-problema da actividade AL 1.2 remetia para uma situação que não se coloca na realidade, uma vez que o conjunto dos aparelhos eléctricos em funcionamento dentro de casa, não podem ser considerados como uma resistência exterior que está directamente ligada ao gerador fotovoltaico.

Desta questão-problema não derivava o estudo das variáveis "interposição de filtros" ou "iluminância".

Na situação criada no projecto o dispositivo fotovoltaico está já directamente ligado ao receptor, o motor eléctrico. Na primeira actividade experimental do projecto e a única por nós proposta, solicitou-se que os alunos traçassem a curva característica do módulo, verificando que existe um valor da resistência para a qual a potência fornecida é máxima, servindo este estudo para que os alunos se familiarizem com a curva I-V e com os procedimentos experimentais, sem se pretenda que os alunos centrassem o seu estudo na resistência que maximiza a potência do módulo, ao longo do projecto.

A questão-problema, no projecto, gera a actividade dado que remete, quer para o estudo da interposição de filtros devido à existência de filtros coloridos na pista, quer para o estudo de diferentes valores de iluminância, uma vez que surge a situação do carro ter de passar uma zona sem iluminação (o túnel preto).

## ***2. Extrapolação de valores***

Para responder à questão, qual a resistência que maximiza a potência do painel, no contexto da QP (quando é a radiação solar que incide sobre um painel) seria necessário a extrapolação dos resultados laboratoriais, situação em que a radiação incidente é a da lâmpada para a solar e para as dimensões do painel a colocar na habitação, mas esta passagem não é possível dadas as diferentes condições existentes nas duas situações.

No projecto surgem igualmente duas situações distintas, ou seja, os resultados obtidos com uma lâmpada incandescente e os que se obteriam sob radiação solar directa. Neste caso, não se pretende que os alunos façam uma extrapolação dos resultados laboratoriais, mas que verifiquem se os resultados são similares nas duas situações referidas. Pretende-se que os alunos compreendam que se tratam de situações distintas e que hajam em conformidade. Para conhecerem a resposta do módulo à interposição dos filtros e tendo em conta que a corrida se realiza sob luz solar, os alunos devem efectuar esse estudo no exterior, utilizando como fonte, o Sol.

## ***3. Comprimento de onda como factor em estudo***

A interposição de filtros surge desligada da questão-problema: não parece existir uma relação entre o estudo desta variável (c.d.o. da radiação incidente) e a melhor forma de instalar um painel fotovoltaico numa habitação. Esta variável que apresenta um grande potencial e grande ligação com os conteúdos leccionados na respectiva unidade, surge como mais um factor a estudar, solicitado no procedimento experimental, sem motivação na questão-problema.

No projecto a variável o estudo da interposição de filtros é incontornável, porque resulta directamente da QP e remete para a análise do espectro de absorção de uma célula de silício e os espectros de emissão das várias fontes em questão: o Sol e a lâmpada de incandescência ou outra.

#### ***4. Dependência e controlo das variáveis***

Na actividade experimental AL 1.2 procura-se encontrar a resistência que maximize a potência fornecida pela célula, a qual depende simultaneamente dos vários factores que o programa propõe estudar: a iluminância, o ângulo de incidência e o c.d.o. O controlo de variáveis é bastante exigente e a actividade torna-se extensa, uma vez que, comporta uma dependência entre as variáveis complexa.

A complexidade que resulta da dependência entre as variáveis tem que ser gerida na actividade a propor aos alunos, com base no tempo destinado à actividade. A sugestão dada aos alunos, durante a realização da componente laboratorial do projecto, de trabalharem com os valores da intensidade corrente de curto-circuito no lugar de procurarem conhecer a potência máxima em cada ensaio, simplificou o trabalho laboratorial. Isto foi possível, uma vez que não nos interessava conhecer a resistência exterior que maximizava a potência fornecida pelo módulo.

## ***Capítulo 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS***

Neste capítulo apresentamos as conclusões gerais do estudo realizado, remetendo para alguns resultados que dele derivaram. São ainda referidas algumas limitações do estudo e sugestões para futuras investigações.

### **6.1 Conclusões gerais do estudo**

Na introdução desta dissertação utilizámos uma frase em epígrafe que nos permitiu, nos momentos mais difíceis deste estudo, sentir a importância do esforço feito. Com efeito, “for a successful implementation of PV, a strong effort is required in the field of education and training at all levels” (PV-TRAC, 2005).

Podemos considerar que este trabalho como um contributo para aproximar o conhecimento do funcionamento das células fotovoltaicas dos professores e dos jovens, tomando consciência da sua complexidade, da sua constante evolução, do seu valor e dos seus limites. Estes aspectos são, do nosso ponto de vista, fundamentais para a valorização pedagógica da actividade em estudo. Gostaríamos que este contributo ajudasse a “experimentar”, no sentido que William James (citado por Jolibert, 1996, p.21, na sua Introdução às Conferências Sobre Educação de W. James, 1892) lhe dava, “*To experiment désigne l'adhésion complète et concrète à la vie. Pour reprendre le vocabulaire à la mode, il s'agit à la fois du savoir, du savoir-faire et de l'être. To experience veut dire éprouver, sentir en soi-même et pas seulement connaître abstraitement*”.

O texto elaborado sobre a tecnologia fotovoltaica, capítulo 2, permite fundamentar cientificamente as considerações realizadas sobre a actividade, que esteve em estudo ao longo deste trabalho, “*AL 1.2 - Energia Eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico*” e cumpre um dos objectivos do trabalho: elaborar um texto com informação necessária e relevante para os professores que queiram aprofundar a temática.

### Sobre a análise do programa e de alguns manuais escolares

Da análise realizada da actividade experimental AL 1.2, quer na proposta do programa de FQ A, quer em alguns Manuais Escolares, concluímos existirem alguns problemas de concepção da actividade, no que diz respeito ao:

- Rigor científico e à complexidade da actividade;
- Cumprimento ineficaz das intenções manifestas no programa.

Relativamente às questões de falta de rigor científico que surgiram, destacam-se duas:

Na actividade experimental AL 1.2 tal como é proposta no programa de FQ A, há que referir a **analogia subjacente à questão-problema**, que considera que a resistência dos aparelhos eléctricos existentes no interior da habitação determina o ponto de funcionamento do gerador fotovoltaico;

Nos Manuais Escolares quando se aborda o tema "Energia Solar Fotovoltaica", a explicação do **efeito fotovoltaico** é, por vezes, muito deficiente e até inexistente. Este efeito surge geralmente confundido ou indiferenciado do efeito fotoeléctrico.

No capítulo 2 deste trabalho (na página 88) encontramos a primeira questão esclarecida aquando da explicação do funcionamento de um sistema fotovoltaico isolado doméstico e, nomeadamente, do regulador de ponto de potência máxima ou MPPT (*Maximum Power Point Traking*) que é um dos componentes desse sistema, o qual utiliza um circuito electrónico de forma a poder extrair sempre o máximo de energia disponível dos painéis, colocando-os a operar no ponto de potência máxima e independentemente dos equipamentos eléctricos existentes no interior da habitação.

Apenas nas situações em que os dispositivos fotovoltaicos são ligados directamente ao receptor, então será este, que determina o seu ponto de funcionamento e que não será obrigatoriamente o de máxima potência, até porque o ponto de funcionamento estará sempre dependente de outros factores exteriores, como a irradiância e a temperatura.

Quanto ao efeito fotovoltaico, ele é igualmente tratado no referido capítulo, com o devido cuidado e a um nível que pensamos adequado ao professor, já que foi desenvolvido na procura de respostas para às questões com que a professora-investigadora se ia confrontando, ponto 2.5 - A Física da célula fotovoltaica (que tem início na página 46).

No que diz respeito à **complexidade da actividade**, esta deriva da inter-relação existente entre as várias variáveis em estudo, o que implica um rigoroso controlo de variáveis. Neste sentido, apresentamos uma forma de ultrapassar esta questão, simplificando o trabalho procedimental, no capítulo 4, entre outras sugestões para a implementação da actividade experimental AL 1.2.

Em relação ao cumprimento das intenções manifestas no programa de Física e Química A, concluímos da análise efectuada ao programa, com enfoque na actividade experimental AL 1.2, que apesar de existir grande coerência essas intenções e o que estabelece a investigação em didáctica das ciências, elas não são eficazmente concretizadas. Sistematizámos as intenções manifestas no programa de FQ A em 5 pontos. Consideramos que o programa:

1. Estabelece um tempo próprio para a componente experimental;
2. Perspectiva o trabalho experimental como um trabalho de natureza investigativa;
3. Estrutura as actividades numa perspectiva de ensino contextualizado;
4. Remete para o enquadramento dos conceitos numa perspectiva CTSA;
5. Encara a componente prático-laboratorial como resposta à necessidade de elevar o nível de literacia científica.

A actividade AL 1.2 não traduz as intenções aí manifestas, na medida em que não é exemplo de uma actividade de carácter investigativo, apesar de existir essa intenção que se percebe pela sua estrutura. A questão-problema que deveria servir de contexto e ponto de partida não desencadeia a actividade experimental descrita e portanto, não exerce a função que lhe é atribuída, nem como geradora da actividade, nem como contexto. Por outro lado, o tempo reservado para a actividade e para o tema (1,5 h) consideramos ser muito reduzido, o que limita quer a possibilidade de se realizar como um trabalho experimental de natureza investigativa, quer uma abordagem ao tema eficiente e numa perspectiva CTSA.

O problema que formulámos face ao que se disse anteriormente foi o de saber que alterações deveríamos introduzir na actividade de forma a cumprir as intenções manifestas nas orientações curriculares, bem como os objectivos e procedimentos experimentais relativos à actividade. Traduzimos este problema numa questão que tomámos como a nossa questão-problema:

***"Que alterações introduzir na actividade AL 1.2 de forma a que ofereça rigor científico, que o contexto gere a actividade e que seja, ela própria, geradora de conhecimento físico, cumprindo as intenções do programa?"***

#### Sobre a nossa proposta

Tal como era nosso objectivo e no sentido de reunir alguns elementos que resultaram do estudo realizado da actividade AL 1.2, apresentámos algumas considerações relativas implementação da actividade AL 1.2, das quais se destacam:

- a) a importância de que a escolha dos materiais laboratoriais se faça de forma a que estes sejam "compatíveis" entre si, ou seja, que a gama de resistências que o reóstato oferece permita conhecer a curva característica da célula fotovoltaica, o que depende das características desta e das condições de iluminância com que se vai trabalhar.
- b) a necessidade de gerir a complexa relação entre as várias variáveis envolvidas com base no tempo estabelecido para a sua realização, o que remete para estratégias de implementação da actividade adequadas.

Apresentámos diferentes propostas de alteração para a actividade AL 1.2 tal como surge no programa de FQ A, as quais apresentavam níveis de alterações e também diferentes níveis de resolução dos problemas que considerámos existirem nessa actividade. Em qualquer dos casos, pretendeu-se ir ao encontro dos objectivos e procedimentos experimentais estabelecidos no programa para a actividade experimental AL 1.2. As sugestões que foram apresentadas são as seguintes:

1. Retirar a analogia entre a resistência do circuito e a dos receptores na habitação, mantendo a questão-problema;

2. Alterar a questão-problema utilizando outra aplicação da energia solar fotovoltaica como contexto, de forma a que a questão-problema motive o estudo das variáveis que o programa contempla, nomeadamente, o estudo da "interposição de filtros";
3. Utilizar novo contexto e Trabalho de Projecto, de forma a que a questão-problema gerasse a actividade e que fosse suficientemente motivante para que os alunos se envolvessem no trabalho experimental superando a sua complexidade.

A sugestão 3 é a mais rica, permitindo concretizar muitas das orientações programáticas, e foi sobre essa que incidiu o nosso investimento. A nossa proposta concretizou-se na forma de um Trabalho de Projecto, que concebemos e denominámos de "Em pista... ligado ao Sol". O contexto que serviu o projecto consistia numa corrida de carros, que se movem unicamente pela energia eléctrica fornecida por um pequeno módulo fotovoltaico. A construção dos carros caberá aos alunos bem como as decisões sobre a orientação da pista e sobre a sequência de diferentes túneis coloridos e negros a colocar sobre a pista.

A questão-problema transformou-se em: ***"Como melhorar o desempenho do carro solar fotovoltaico e quais as condições da pista mais favoráveis para ganhar a corrida?"***

#### Sobre a validação da proposta

A nossa proposta resultou de uma validação teórica permanente, científica e pedagógica, e de uma primeira aplicação com alunos (ver caracterização capítulo 5). Esta aplicação não tem o valor de uma aplicação empírica mas teve um papel muito importante no produto final aqui apresentado, já que nos confrontou com pequenos problemas que tivemos de ultrapassar.

A questão-problema motivou o estudo das várias variáveis sugeridas no programa, nomeadamente, o "ângulo" da radiação incidente, "interposição de filtros" e as "condições de iluminação", de forma a conhecerem quais as melhores condições de colocação do módulo fotovoltaico no carro e dos túneis na pista

O contexto criado revelou-se suficientemente motivador para que os alunos se empenhassem na planificação e concretização do projecto, apesar das dificuldades inerentes ao tema e à complexidade da actividade.

Constatámos ainda que os alunos ficaram agradados com os recursos disponibilizados no projecto, quer dos materiais para concretizar a corrida quer do *logbook* (anexo XI). Por um lado, por serem visualmente atractivos e por outro, por conterem algo de novo.

Os materiais experimentais elaborados ou escolhidos para o projecto foram os seguintes:

- um *kit* que permite a construção de um carro, contendo um motor eléctrico e um módulo fotovoltaico;
- uma pista com túneis, de cores diferentes, onde se deslocam os carros;
- um sistema de medição dos tempos da corrida.

Quanto ao *logbook*, este foi utilizado pela primeira vez pelos alunos, tendo sido pouco solicitado, apesar destes o considerarem visualmente apelativo e de se fazerem geralmente acompanhar dele. Foram preenchidas sobretudo as folhas de planificação e registos do projecto e das actividades experimentais, não havendo em geral entradas relativas a pesquisas, bibliográfica ou webográfica.

## **6.2 Limitações do estudo**

Dos materiais experimentais desenvolvidos para o projecto, pensamos que o dispositivo de medição de tempo utilizado para aferir a ordem de chegada dos carros fotovoltaicos, durante a corrida pode ser melhorado. Isto porque, se verificou que os digitímetros não funcionavam devidamente sob luz solar directa, o que nos levou a introduzir algumas adaptações.

Uma das limitações com que nos confrontámos foi com limitação temporal para a implementação do projecto em sala de aula, tendo sido realizadas algumas etapas deste, fora do horário normal e inclusivamente após o término das actividades lectivas do

respectivo ano. Salienta-se que a implementação do projecto se realizou numa turma que não era leccionada pela professora-investigadora e que o contacto com os alunos se fez exclusivamente em momentos destinados à implementação do projecto, que se intercalavam com as restantes aulas da disciplina de FQ, não havendo um contacto regular.

A utilização do *logbook* foi praticamente reduzida ao essencial, em parte devido ao pouco tempo disponível para o projecto, mas também devido à falta de hábitos de trabalho, quer no que diz respeito à preparação das aulas experimentais quer na necessidade de efectuar registos durante a aula experimental. Uma forma de tornar este instrumento mais apelativo para os alunos e incentivando maior número de registos, seria transformá-lo em *logbook* digital. Mas, quer no formato de papel ou digital, uma boa utilização deste instrumento requer tempo para a concretização do Trabalho de Projecto e, por outro lado, uma familiarização por parte dos alunos e professores com este instrumento de trabalho e avaliação. Contudo, na escola onde implementámos o projecto, deparámo-nos ainda com a inexistência de material informático no laboratório, para registo e tratamento dos dados experimentais e que consideramos necessários para a actividade em questão.

### **6.3 Sugestões para futuras investigações**

Este projecto pode ser adaptado a outros níveis de ensino, mantendo o contexto e questão-problema, alterando algumas regras contidas no regulamento da corrida e adaptando a informação fornecida e o tipo de tratamento dos dados experimentais. Este deverá ser essencialmente qualitativo no caso do ensino básico. Em particular no 12.º ano, poderá servir de base para o trabalho a desenvolver em Área de Projecto, onde a pesquisa sobre o funcionamento das células pode ser remetido para os alunos, bem como algumas decisões relativas à escolha dos materiais a adoptar e acerca do regulamento da corrida.

Como continuidade deste trabalho deixamos 4 sugestões:

1. Verificar se os professores têm consciência da generalização imprudente sugerida. Este aspecto é significativo em muitos contextos de educação científica. Com efeito, passa-se

rapidamente dos estudos de laboratório para as situações do dia-a-dia, passagem esta muito problemática. Esta questão poderá ser um ponto de partida para estudos centrados em contextos CTSA.

2. Verificar se os professores consideram relevante e suficiente toda a informação científica elaborada ao longo do trabalho.
3. Multiplicar os contributos para uma educação científica que valorize o conhecimento e a utilização do efeito fotovoltaico.
4. Validar, com forte evidência empírica, a proposta desenvolvida. Aplicá-la, ajustando-a a diferentes níveis de escolaridade
5. Conceber um *logbook* digital para o projecto aqui concebido.

## **REFERÊNCIAS**

- Abrantes, P. (1994). *O trabalho de projecto e a relação dos alunos com a Matemática. A experiência do Projecto MAT<sub>789</sub>*. Tese de doutoramento em Educação, Departamento de Educação da FC/UL (16/08/2006)
- ADENE / INETI (2001). *Fórum Energias Renováveis em Portugal - Relatório Síntese. Versão Online no site do INETI: [http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes\\_online/diversos/energias\\_renov/indice.htm](http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/energias_renov/indice.htm)* (16/08/2006)
- ADENE (2002) FORUM Energias Renováveis em Portugal. Uma contribuição para os objectivos de política energética e ambiental
- ADENE (2005). National Survey Report of PV Power Applications in Portugal Portuguese Agency for Energy. <http://www.oja-services.nl/iea-pvps/countries/portugal/index.htm> (16/08/2006)
- Almeida, A. M. (1998). Papel do trabalho experimental na Educação em Ciências. *Boletim Comunicar Ciência*, Ano I, N.º1, Lisboa: Ministério da Educação - DES
- Almeida, A. M., Papel do Trabalho Experimental vs as Perspectivas Epistemológicas em Física, ANAIS - Educação e desenvolvimento 2000
- Almeida, G. (2002) Sistema Internacional de Unidades (SI). Grandezas e unidades Físicas, terminologia, símbolos e recomendações. Lisboa: Plátano
- Antunes, P., Santos, R., Martinho, S., Lobo, G. (2003). Estudo sobre o Sector Eléctrico e Ambiente. Relatório síntese. Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências. [em linha] URL: <<http://www.erse.pt/NR/rdonlyres/67143728-7FA0-40DC-A72D-227F1BC99514/0/SectorEI%C3%A9ctricoeambienteRelat%C3%B3rioS%C3%A9ntese.pdf>> (16/08/2006)
- Araújo, A., Martins, A., Rodrigues, R. (2002) SAESOL – Sistema de alimentação a energia solar. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

- BAROMÈTRE PHOTOVOLTAÏQUE EurObserv'ER (2006) [em linha] URL: <[http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/observ/baro172.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro172.pdf)> (16/08/2006)
- Bello, A., Caldeira, H. (2003). *Ontem e Hoje 10.º ano (1.ª ed.)*. Porto: Porto.
- Bosgraaf, F. (2005) From Black Currant to Green Current apresentado na AIP/STAV 2005 Physics Teachers Conference. [em linha] URL: <http://www.vicphysics.org/events/stav2005.html> (20/09/2006) =7
- Boutinet, Jean-Pierre (1996). *Antropologia do projecto*. Lisboa: Instituto Piaget. (Trabalho original em francês publicado em 1990)
- Bower, w. (2002) *International guideline for the Certification of photovoltaic system components and grid-connected systems*. Report IEA PVPS Task 5. Albuquerque: Photovoltaic Systems & Development [em linha] URL: [www.iea-pvps.org/products/download/rep5\\_06.pdf](http://www.iea-pvps.org/products/download/rep5_06.pdf) (16/08/2006)
- Brito, M. (2004) Coligação para a era solar. *NADA –Revista de Arte e Ciência*, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, nº3. [em linha] URL: <<http://solar.fc.ul.pt/solar.htm>> (16/08/2006)
- Brito, M. (2001). Electricidade Solar. *ABC Ambiente*. Faculdade de Ciências da [em linha] URL: <<http://solar.fc.ul.pt/solar.htm>> (16/08/2006)
- Brito, M., Silva, J. (2006). Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. *O instalador*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa [em linha] URL: <http://solar.fc.ul.pt/solar.htm> (16/08/2006)
- Brito, M., Silva, A. (2006) Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. [em linha] URL: <<http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>> (16/08/2006)
- Cabral, M. (2005). *Como analisar manuais escolares*. Lisboa: Texto.
- Cachapuz, A.; Praia, J., Jorge, M. (2002). *Ciência, Educação em Ciência e Ensino das Ciências*. Lisboa. Instituto de Inovação Educacional. Ministério da Educação
- Cachapuz, A. (2000). *Perspectivas de Ensino*. Porto: CEEC
-

- California Energy Commission (2003). Potential Health and Environmental Impacts Associated With the Manufacture and Use of Photovoltaic Cells. Relatório técnico preparado para Public Interest Energy Research Program (PIER). California [em linha] URL: [www.epriweb.com/public/000000000001000095.pdf](http://www.epriweb.com/public/000000000001000095.pdf) (20/09/2006) (16/08/2006)
- Castro, L., Ricardo, M. (2003). *Gerir o trabalho de projecto. Guia para a flexibilização e revisão curriculares*. Lisboa: Texto.
- Castro, R. (2004). Energias Renováveis e produção descentralizada. Introdução à Energia Fotovoltaica. IST/DEEC-Secção de Energia. [em linha] URL: [http://enerp4.ist.utl.pt/ruicastro/download/FV\\_ed1.pdf](http://enerp4.ist.utl.pt/ruicastro/download/FV_ed1.pdf) (16/08/2006)
- Comissão das Comunidades Europeias (2004). A quota das energias renováveis na UE, Bruxelas. Avaliação do efeito de instrumentos legislativos e outras políticas comunitárias no aumento da contribuição das fontes de energia renováveis na UE e propostas de acção concretas [em linha] URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2004:0366:FIN:PT:DOC> (16/08/2006)
- Commission EUR 21242 (2005). *A Vision for Photovoltaic Technology*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 92-894-8004-1
- Cortesão, L., Leite, C., Pacheco, J. (2002). *Trabalhar por projectos em educação. Uma inovação interessante?* Porto: Porto
- Costa, A, Costa, A. M., Moisão, A. & Caeiro, F. (2002). *Ver +, Física A 10.º ano* (1.ª ed.). Lisboa: Plátano.
- Costa, A. M. (2003). *Trabalho de Projecto: Da energia solar à energia eléctrica*. Évora (não publicado)
- Costa, S. (2001). *A Exploração do Universo e o Ensino e Aprendizagem de Astronomia, Som e Luz. Uma Experiência com alunos do 8.º ano de escolaridade*. Tese de mestrado inédita. Universidade de Aveiro, Departamentos de Física, Química e de Didáctica e Tecnologia Educativa.
-

- Cusa, J. (1999) *Energia Solar para vivendas*. AMADORA: Plátano. (Trabalho original em espanhol publicado em 1984)
- Departamento do Ensino Secundário (2003). Revisão Curricular do Ensino Secundário. Cursos Gerais e Tecnológicos. Lisboa: Ministério da Educação
- Economic Co-operation and Development (OECD) & International Energy Agency (IEA) (2000). *Experience Curves for energy Technology policy*. Paris: IEA Publications. [em linha] URL: <[www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/curve2000.pdf](http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/curve2000.pdf)> (16/08/2006)
- EREC - European Renewable Energy Council Renewable Energy. (2004) Renewable energy Scenario to 2040. Brussels. [em linha] URL: [www.erec-renewables.org/documents/targets\\_2040/EREC\\_Scenario%202040.pdf](http://www.erec-renewables.org/documents/targets_2040/EREC_Scenario%202040.pdf) (16/08/2006)
- Freitas, M. *Trabalho prático (laboratorial e de campo) na promoção de áreas transversais do currículo (área de projecto/projecto tecnológico)*. Em Sequeira, M e outros.(2000). Trabalho prático experimental na educação em ciências. IEP Universidade do Minho.
- Green, M. A. (1998) Photovoltaic Solar Energy Conversion: An Update. ATSE Focus No 102, May/June 1998 URL: <http://www.atse.org.au/index.php?sectionid=391> (16/08/2006)
- Handleman, C. (s.d.) An Experience Curve Based Model for the Projection of PV Module Costs and Its Policy Implications. [em linha] URL: <[http://www.heliotronics.com/papers/PV\\_Breakeven.pdf](http://www.heliotronics.com/papers/PV_Breakeven.pdf)> (16/08/2006)
- Hodson, D. (2003). Time for action: Science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, 25(6), 645-670.
- Hodson, Derek. (1992) Redefining and reorienting practical work in school science. SSR, 73, 65-78
- Hodson, Derek. (1996) Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *Journal Curriculum Studies*, vol. 28, 2, 115-135
-

- Hodson, Derek. (2003) Time for action: science education for an alternative future. *International Journal of Science Education*, vol. 25, 6, 645-670
- Hoffmann, W., Pietruszko, S., Viaud, M. (2004) Towards an Effective European Industrial Policy for PV Solar Electricity. 19th PVSEC, Paris. [em linha] URL: [www.schott.com/old\\_photovoltaic/english/download/whoffmann\\_19\\_pvsec\\_paris\\_2004.pdf](http://www.schott.com/old_photovoltaic/english/download/whoffmann_19_pvsec_paris_2004.pdf) (16/08/2006)
- IEA-PVPS- Report T10-01 (2006) Compared assessment of selected environmental indicators of photovoltaic electricity in OECD cities. [em linha] URL: [www.eupvplatform.org/fileadmin/Documents/Full\\_Report\\_26pays.pdf](http://www.eupvplatform.org/fileadmin/Documents/Full_Report_26pays.pdf) (16/08/2006)
- International Energy Agency Co-operative Programme on Photovoltaic Power Systems, Task 1 National Survey Report of PV Power, Applications in Portugal, 2004
- IEA - International Energy Agency-Photovoltaic Power, Systems Programme European Photovoltaic Industry Association, European Photovoltaic Technology Platform (2006). *Compared assessment of selected environmental indicators of photovoltaic electricity in OECD cities* [em linha] URL: [http://www.iea-pvps.org/products/rep10\\_01\\_epia.htm](http://www.iea-pvps.org/products/rep10_01_epia.htm) (16/08/2006)
- Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI). (2006) Guia da Energia Solar. Concurso Padre Himalaya. [em linha] URL: <http://new.cienciaviva.pt/rede/energia/himalaya2006/home/guia2.pdf> (20/09/2006)
- Juster, F. (1981) *Pilhas solares*. Porto: Editorial Presença.
- Leite, L. (2000). As Actividades Laboratoriais e a Avaliação das Aprendizagens dos Alunos. Em Sequeira, M e outros.(2000). Trabalho prático experimental na educação em ciências. IEP Universidade do Minho.
- Lévy-Leblond, J. M. (1995). *Aux Contraires – L'exercice de la pensée et la pratique de la science*. Paris : Gallinard.
- Lopes, J.B. (2004). *Aprender e Ensinar Física*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Lorenzo, E. (2004). Solar electricity. Engineering of photovoltaic systems (1.ª ed.). Sevilla: ProgenSA. (Trabalho original em espanhol publicado em 2004.)=14

- Lunetta, V. N.(1991). Actividades Práticas no Ensino da Ciências. *Revista de Educação*, II, n.º1, 81-90
- Maciél, N., Gradim, M., Campante, M. (2003). *Eu e a Física 10.ºano (1.ª ed.)*. Porto: Porto.
- Melo, L. (2003). *A Física do Nosso Mundo 10.ºano (1.ª ed.)*. Carnaxide: Constância.
- Mendonça, M.(2002). *Ensinar e aprender por projectos*. Porto: Asa.
- Nemet, G. (2006) Behind the learning curve: Quantifying the sources of cost reductions in photovoltaics. University of California. [em linha] URL: <<http://www.feem-web.it/ess06/files/nemet-fp.pdf>> (16/08/2006)
- Nordmann, T. (2005, Junho) Feed in tariffs and building integrated PV (BIPV) Can we make it a winning team? Barcelona: comunicação apresentada na Conferência Europeia de Energia Solar Fotovoltaica. [em linha] URL: [http://www.iea-pvps.org/products/download/pap2\\_052.pdf](http://www.iea-pvps.org/products/download/pap2_052.pdf) (20/09/2006)
- Observ'er (2005). Worldwide electricity production from renewable energy sources. Stats and figures series. [em linha] URL: <http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html> (16/08/2006)
- Oliveira, A. R. (2000) *Ecological Architecture. Tendencias bioclimáticas y arquitectura del paisaje*. Barcelona: LOFT Publications.
- “O Solar Fotovoltaico em Portugal situação atual e perspectivas Energia solar”, n.º53, *Revista de energias renováveis & Ambiente*, 2003
- Parecer do Comité Económico e Social Europeu sobre «Fontes de energia renováveis»(2006/C 65/20) de 15-12-2005. [em linha] URL: <[http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT\\_LC\\_27586\\_1\\_0001.htm](http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT_LC_27586_1_0001.htm)>
- Programa de Actuação para reduzir a dependência de Portugal face ao Petróleo de 4/11/04 [em linha] URL: [http://www.portugal.gov.pt/NR/rdonlyres/F4D7FC27-A5DB-49D9-892F-050CD65DE3CA/0/Prog\\_Reducacao\\_Dependencia\\_Petroleo.pdf](http://www.portugal.gov.pt/NR/rdonlyres/F4D7FC27-A5DB-49D9-892F-050CD65DE3CA/0/Prog_Reducacao_Dependencia_Petroleo.pdf) (25/08/2006)
-

- Ponte, J., Abrantes, P. Graça, M., Boavida, A. (1997). *Didáctica - ensino secundário* (1.<sup>a</sup> ed.). Lisboa: Ministério da Educação - DES.
- Ponte, J.; Brunheira, L.; Abrantes, P. & Bastos, R. (1998). *Projectos Educativos*. Lisboa: Ministério da Educação: Departamento do Ensino Secundário.
- Photovoltaic Technology Research Advisory Council (PV-TRAC). European Commission (2005). EUR 21242 – A Vision for Photovoltaic Technology. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. ISBN 92-894-8004-1 [em linha] URL: [ec.europa.eu/research/energy/pdf/vision-report-final.pdf](http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/vision-report-final.pdf) (28/06/2007)
- Poulek, V., Libra, M. (s.d.) New bifacial solar trackers and tracking concentrators. [em linha] URL: <http://www.solar-trackers.com/paper.pdf> (20/09/2006)
- Ramage, J. (2003). *Guia da Energia*. Lisboa: Monitor (Trabalho original em inglês publicado em 1983)
- Rekstad, J., Meir, M. (2006) Energy and Physics. Department of Physics. University of Oslo. Norway. [em linha] URL: [http://www.physics.uio.no/energy/fys4540/FYS\\_4540\\_kompendium.pdf](http://www.physics.uio.no/energy/fys4540/FYS_4540_kompendium.pdf) (2007.06.08)
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005 de 24-10-2005 [em linha] URL: [http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT\\_LN\\_27374\\_1\\_0001.htm](http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT_LN_27374_1_0001.htm) (16/08/2006)
- Rodrigues, M. J. (2006) Energia Solar Fotovoltaica. Resenha histórica. [em linha] [http://www.spes.pt/pagina/index.php?option=com\\_content&task=view&id=68&Itemid=115](http://www.spes.pt/pagina/index.php?option=com_content&task=view&id=68&Itemid=115) (20/09/2006)
- Rodrigues, M. J., Energia solar fotovoltaica, 24 Maio 2006 [em linha] URL: [http://www.spes.pt/pagina/index.php?option=com\\_content&task=view&id=68&Itemid=11](http://www.spes.pt/pagina/index.php?option=com_content&task=view&id=68&Itemid=11) (16/08/2006)
- Rodrigues, M., Dias, F. (2003). *Física na Nossa Vida 10 - Livro de Texto* (1.<sup>a</sup> ed.). Porto: Porto
- Rodrigues, M., Dias, F. (2006). *Física na Nossa Vida 10.º ou 11.º (ano 1) - Livro de Texto* (1.<sup>a</sup> ed.). Porto: Porto
-

- Rodrigues, M., Dias, F. (2003). *Física na Nossa Vida 10 - Caderno de Laboratório* (1.<sup>a</sup> ed.). Porto: Porto
- Rodrigues, M., Dias, F. (2007). *Física na Nossa Vida 10.º ou 11.º (ano 1) - Livro de Texto* (1.<sup>a</sup> ed.). Porto: Porto
- Rodrigues, M. J. (2003). *Por Que Falha a Energia Solar em Portugal?* [em linha] URL: <<http://in3.dem.ist.utl.pt/downloads/press/pub20031229.pdf>>
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2003 (resolução que aprova as orientações da política energética portuguesa) [em linha] URL: [http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT\\_LN\\_25929\\_1\\_0001.htm](http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/TXT_LN_25929_1_0001.htm) (16/08/2006)
- Resolução do Conselho de Ministros N.º 171/2004 de 29-11-2004 (resolução que aprova o Programa de Actuação para Reduzir a Dependência de Portugal face ao Petróleo) [em linha] URL: [http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/ANJ\\_26894\\_LN.htm](http://www.diramb.gov.pt/data/basedoc/ANJ_26894_LN.htm) (16/08/2006)
- Sá, M. T. (2002). *Física, Ciências Físico-Químicas 10.ºano* (1.<sup>a</sup> ed.). Lisboa: Texto.
- Sá, M. T. (2002). *Guia do Laboratório, Física, Ciências Físico-Químicas 10.ºano* (1.<sup>a</sup> ed.). Lisboa: Texto.
- Santos, J., Antunes, F. L. M. (2003) Maximum Power point tracker for PV systems, University of Ceará, Brazil, apresentado em *RIO 3 - World Climate & Energy Event, 1-5 December 2003, Rio de Janeiro Brazil*
- URL: [www.rio3.com/proceedings/RIO3\\_075\\_J\\_L\\_Santos.pdf](http://www.rio3.com/proceedings/RIO3_075_J_L_Santos.pdf) (20/08/06)
- Santos, L. (s.d.) Auto-avaliação regulada: porquê, o quê e como? [em linha] URL: <http://www.educ.fc.ul.pt/docentes/msantos/textos/DEBfinal.pdf> (16/08/2006)
- Silva, D. M. (2003). *Desafios da Física, Física e Química - A, 10.ºano* (1.<sup>a</sup> ed.). Lisboa: Lisboa.
- Silva, A., Resende, F., Ribeiro, M. (2007). *Física 10/11 (ano 1)*. Porto: Areal.
-

- Sousa, T., Pregitzer, R., Martins, J., Afonso, J. (2005) Estudo do Panorama das Energias Renováveis na União Europeia e Sugestões para Portugal. ENER'05 – Conferência sobre Energias Renováveis e Ambiente em Portugal, pp. 1.87-1.92. [em linha] URL: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1866/1/ENER-05\\_ER.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1866/1/ENER-05_ER.pdf)> (20/08/06)
- SPES (2003) Energia Solar. Energia de Energias Renováveis & Ambiente, 53.
- Stahl, Frieda A. The emergence of semiconductors: Nineteenth century modern physics. American Journal of Physics, 71, November 2003
- Teixeira, M. (2003). Trabalho Laboratorial de Natureza Investigativa. Tese de mestrado inédita. Universidade de Lisboa, Departamento de Física da Faculdade de Ciências.
- Trindade, M., Martins, J., Afonso, J., Sistema para Optimização da Extração de Energia de Painéis Solares Fotovoltaicos, apresentado em ENER'05 – Conferência sobre Energias Renováveis e Ambiente em Portugal, Figueira da Foz, Portugal, 5-7 de Maio de 2005, ISBN: 972-8822-02-02, pp. 1.165-1.170
- Valente, M. (2005) "Riscos Naturais e Tecnológicos: Novos Desafios para a Educação Científica". 2.º Encontro de Pós-Graduação em Investigação e Ensino das Ciências Físicas e da Terra da Universidade de Évora - Curso de Formação Científica e Pedagógica em Riscos Naturais e Tecnológicos (não publicado)
- Vallêra, A., Brito, M. (2006). Meio século de história fotovoltaica. *Gazeta da Física*. [em linha] URL:<http://solar.fc.ul.pt/solar.htm> (16/08/2006)
- Ventura, G, Fiolhais, M., Fiolhais, C., Paiva, J. & Ferreira, A.J. (2003). *10F, Ciências Físico-Químicas - Física 10.º ano* (1.ª ed.). Lisboa: Texto.
- William, R. Young, J. (2000). PV disaster training workshop manual training document definition. Florida: Florida Solar Energy Center. [em linha] URL: [www.fsec.ucf.edu/PVT/Resources/publications/pdf/FSEC-CR-1144-1999-1.pdf](http://www.fsec.ucf.edu/PVT/Resources/publications/pdf/FSEC-CR-1144-1999-1.pdf) (16/08/2006)
-

*LIVROS ANALISADOS*

- [A] Silva, D. M. (2003). *Desafios da Física, Física e Química - A, 10.ºano* (1.ª ed.). Lisboa: Lisboa.
- [B] Costa, A, Costa, A. M., Moisés, A. & Caeiro, F. (2002). *Ver +, Física A 10.ºano* (1.ª ed.). Lisboa: Plátano.
- [C] Ventura, G, Fiolhais, M., Fiolhais, C., Paiva, J. & Ferreira, A.J. (2003). *10F, Ciências Físico-Químicas - Física 10.ºano* (1.ª ed.). Lisboa: Texto.
- [D] Rodrigues, M., Dias, F. (2003). *Física na Nossa Vida 10 - Livro de Texto* (1.ª ed.). Porto: Porto.
- [D\*] Rodrigues, M., Dias, F. (2003). *Física na Nossa Vida 10 - Caderno de Laboratório* (1.ª ed.). Porto: Porto.
- [E] Bello, A., Caldeira, H. (2003). *Ontem e Hoje 10.ºano* (1.ª ed.). Porto: Porto.
- [F] Maciel, N., Gradim, M., Campante, M. (2003). *Eu e a Física 10.ºano* (1.ª ed.). Porto: Porto.
- [G] Melo, L. (2003). *A Física do Nosso Mundo 10.ºano* (1.ª ed.). Carnaxide: Constância.

**WEBÁRIO (comentado)**

- [1] <http://www.vivasolar.com/pseudosquare.html>
- [2] [http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/rea\\_issues/solar.html](http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/rea_issues/solar.html) (16/08/2006)  
Energy information administration. Official energy statistics from the U.S. Government
- [3] <http://www.aldraba.org.pt/PDF/REA04interactivo.pdf> (16/08/2006)
- [4] <http://www.schott.com/solar/spanish/download/schott-solarnews-1-en-rz.pdf>  
(20/06/2007)
- [5] URL: [www.owl.net.rice.edu/~esci107/Earth\\_oven.html](http://www.owl.net.rice.edu/~esci107/Earth_oven.html) (16/08/2006)
- [6] URL: [www.physics.utoledo.edu/~lsa/\\_color/05\\_bla.htm](http://www.physics.utoledo.edu/~lsa/_color/05_bla.htm) (16/08/2006)
- [7] URL: [http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/visual/daylight/sun\\_sky/sun.html](http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/clear/visual/daylight/sun_sky/sun.html) (16/08/2006) London Metropolitan University
- [8] URL: <http://www.crystal.unito.it/> (16/08/2006) "Cristal: a computacional tool for solid state chemistry and physics"
- [9] Exell, R. (2000). [em linha] URL:  
<<http://www.jgsee.kmutt.ac.th/exell/Solar/PVCells.html>> (16/08/2006) *By R. H. B. Exell, 2000. King Mongkut's University of Technology Thonburi*
- [10] <http://www.powerpulse.net/features/techpaper.php?paperID=85&page=2> (16/08/2006)
- [11] [www.fysikk.uio.no/kjerne/english/energy/fys4540/FYS4540\\_TOP10\\_SE\\_to\\_work.pdf](http://www.fysikk.uio.no/kjerne/english/energy/fys4540/FYS4540_TOP10_SE_to_work.pdf)  
(17/08/2006)
- [12] URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell) (16/08/2006)

- [13] URL: <http://solar.ujaen.es/cursolar.HTM> (20/09/2006) Curso sobre energia solar fotovoltaica da *Universidad de Jaén*
- [14] URL: <http://www.cea.fr/gb/institutions/Clefs44/an-clefs44/clefs4424a.html> (16/08/2006)
- [15] URL: [http://www.solarnavigator.net/thin\\_film\\_solar\\_cells.htm](http://www.solarnavigator.net/thin_film_solar_cells.htm) (16/08/2006)
- [16] URL: [http://www.energoclub.it/doceboCms/page/68/Semiconduttori\\_silicio.html](http://www.energoclub.it/doceboCms/page/68/Semiconduttori_silicio.html) (16/08/2006)
- [17] Website of the International Energy Agency Photovoltaics Power Systems Programme (IEA PVPS): URL: <http://www.iea-pvps.org/pv/index.htm> (20/09/2006)
- [18] URL: [http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp?zona=continente&grupo=&tema=c\\_insolacao](http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp?zona=continente&grupo=&tema=c_insolacao) (18/06/2006) Website do Instituto do Ambiente, Ministério das Cidades, Ordenamento do território e Ambiente
- [19] <http://www.nrel.gov/ncpv/documents/switzerland.html> (16/08/2006)
- [20] <http://www.xsunx.com/solar-bipv.htm> (16/08/2006)
- [21] [phy.yonsei.ac.kr/~phylab/board/exp\\_ref/upfile/phywe/4\\_1\\_09.pdf](http://phy.yonsei.ac.kr/~phylab/board/exp_ref/upfile/phywe/4_1_09.pdf) (16/6/2004)]
- [22] <http://www.etymonline.com/index.php?term=log> (02/10/2006)
- [23] [www.oceandictionary.net](http://www.oceandictionary.net) (16/08/2006)
- [24] <http://lcweb2.loc.gov/cgi-bin/ampage?collId=amreas&fileName=trr002page.db&recNum=21> (16/08/2006)
- [25] <http://www.sunwindsolar.com> (16/08/2006)

***ANEXOS***

***ANEXO I***

***QUESTÕES ABORDADAS E PONTOS A RELEVAR NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR  
EM CADA CAPÍTULO***

## Questões abordadas e pontos a relevar na perspectiva do professor em cada capítulo

<b>Capítulo</b>	<b>Questões abordadas</b>	<b>Pontos a visitar... pelo professor</b>
<b>1. Introdução</b>	Apresenta-se a problemática e os objectivos deste trabalho.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-As histórias da infância de Feynman;</li> <li>-A actividade experimental AL 1.2 do programa de FQ A do 10.ºano, que se encontra no anexo II.</li> </ul>
<b>2. A tecnologia fotovoltaica: Conhecimento, Tecnologia e Sociedade</b>	<p>Introduz-se um pouco da história das células fotovoltaicas e caracteriza-se a tecnologia e o seu interesse para a sociedade.</p> <p>O capítulo traduz, para não especialistas, a física inerente às células fotovoltaicas. Apresenta noções relativas à radiação solar, à arquitectura e funcionamento das células e dos sistemas fotovoltaicos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-O capítulo fornece informação relevante para a preparação das práticas lectivas segundo uma perspectiva CTSA. A consultar o ponto “Era verde” que aborda o papel desta tecnologia face os desafios ambientais e energéticos que se nos colocam actualmente.</li> <li>-As noções sobre a radiação solar, bem como a constituição das células, suas curvas características e os aspectos físicos da sua eficiência constituem os conhecimentos base para a compreensão da actividade em estudo.</li> <li>- Para compreender a inconsistência da questão-problema da actividade em estudo é importante conhecer o princípio de funcionamento do regulador MPPT (<i>Maximum Power Point Tracking</i>) de um sistema fotovoltaico.</li> </ul>
<b>3. Problemática e metodologia</b>	Apresenta-se a metodologia e as fases do estudo. Faz-se uma análise das perspectivas de ensino e aprendizagem manifestas no programa, analisando até que ponto a actividade experimental AL 1.2 as concretiza eficazmente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-A comparação estabelecida entre as intenções manifestas e as inerentes à proposta do programa remetem para a necessidade de um papel criativo dos professores nas suas práticas, promovendo a reflexividade.</li> <li>-A análise da actividade AL 1.2 aqui realizada é de interesse do professor.</li> <li>- Análise da actividade AL 1.2 nos manuais escolares (no presente capítulo e nos anexos III, IV e V).-</li> </ul>

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>4. Implementação da actividade AL 1.2</b></p>	<p>Aborda-se a questão da escolha dos materiais experimentais de forma a que se adequem entre si; apresentam-se algumas células FV, suas características e custos. Sugerem-se algumas estratégias de sala de aula, de forma a contornar algumas dificuldades da actividade. Apresentam-se sugestões para alterar a actividade AL 1.2 no sentido de contornar algumas inconsistências.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As várias sugestões para a implementação da actividade, desde a escolha dos materiais às estratégias de sala de aula podem ser úteis.</li> <li>- Disponibiliza-se no anexo VI uma simulação para estimar a área do painel e custos do sistema.</li> <li>- Protocolos experimentais para uma das propostas de alteração sugeridas no ponto 4.4.2, p. 162 (anexo IV)</li> </ul>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>5. Proposta de valorizãoda actividade AL 1.2: o da ideia à implementação</b></p>	<p>Fazem-se algumas considerações teóricas sobre trabalho de projecto e sobre a concepção e utilização do <i>logbook</i>.</p> <p>Apresenta-se uma actividade alternativa à AL 1.2, denominada “Em pista... ligado ao Sol”, que utiliza um contexto diferente do do programa e se desenvolve segundo uma perspectiva de Trabalho de Projecto</p>	<p>-O projecto "Em pista... ligado ao Sol", que contempla as intenções manifestas nas orientações curriculares e que cumpre os objectivos da AL1.2.</p> <p>Alguns materiais disponíveis em anexo, relativos ao do projecto “Em pista...ligado ao Sol”:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lista do material necessário (anexo VIII)</li> <li>- Slides de suporte à aula sobre o tema (anexo IX)</li> <li>- Guião do professor (anexo X)</li> <li>- O logbook do aluno (anexo XI)</li> </ul>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);"><b>6. Conclusões</b></p>	<p>Sistematizam-se as principais ideias que resultaram desta investigação. Apresentam-se algumas limitações do trabalho realizado e sugestões de continuidade.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As ideias síntese;</li> <li>- As sugestões de continuidade.</li> </ul>

***ANEXO II***

***TRANSCRIÇÃO DA ACTIVIDADE EXPERIMENTAL AL 1.2  
DO PROGRAMA DE FQ A DO 10.º ANO***



## **AL 1.2 - Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico (1 aula)**

### Questão problema

Pretende-se instalar painéis solares fotovoltaicos de modo a produzir a energia eléctrica necessária ao funcionamento de um conjunto de electrodomésticos. Como proceder para que o rendimento seja máximo?

Pretende-se com esta actividade que os alunos façam o estudo das condições de rendimento máximo de um painel fotovoltaico.

Os alunos deverão:

- fazer a montagem de um circuito com um painel solar (associação de células fotovoltaicas), um amperímetro, um reóstato e, nos terminais deste, um voltímetro. A resistência variável simulará a resistência equivalente do conjunto de aparelhos ligados em simultâneo.
- calcular a potência eléctrica ( P ) fornecida ao circuito para vários valores da resistência ( R ) e construir o gráfico  $P=f(R)$ , iluminando o painel com uma lâmpada fixa a uma certa distância.
- concluir, a partir do gráfico construído, que o rendimento do painel é máximo para um determinado valor da resistência utilizada.
- fazer o controlo de variáveis necessário para concluir sobre a potência eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico nas seguintes situações:
  - sem iluminação, com a iluminação normal do laboratório e com uma lâmpada extensa;
  - com a iluminação da lâmpada para várias inclinações relativamente ao painel;
  - interpondo filtros adequados.

### Objecto de ensino

- Radiação solar na produção de energia eléctrica - Painel fotovoltaico

### Objectivos de aprendizagem

Esta actividade permitirá ao aluno saber:

- Explicitar que a conversão fotovoltaica da energia solar consiste na transformação de energia radiante numa diferença de potencial entre os polos do painel fotovoltaico

- Determinar a potência eléctrica fornecida por painel fotovoltaico
- Identificar a existência de uma resistência exterior que otimiza o rendimento de um painel fotovoltaico
- Explicar que, para maximizar o rendimento de um painel fotovoltaico, este deve estar orientado de forma a receber o máximo de radiação incidente (orientação a Sul e inclinação conveniente)
- Explicar que, para dimensionar um sistema de conversão fotovoltaico, é necessário ter em consideração a potência média solar recebida por unidade de superfície terrestre, durante o dia (ou número médio de horas de luz solar por dia) e a potência a debitar

### Competências a desenvolver pelos alunos

#### A – Competências do tipo processual

- Construir uma montagem laboratorial a partir de um esquema ou de uma descrição
- Identificar material e equipamento de laboratório e explicar a sua utilização/função
- Manipular com correcção e respeito por normas de segurança, material e equipamento
- Recolher, registar e organizar dados de observações (quantitativos e qualitativos) de fontes diversas, nomeadamente em forma gráfica
- Executar, com correcção, técnicas previamente ilustradas ou demonstradas
- Expressar um resultado com um número de algarismos significativos compatíveis com as condições da experiência e afectado da respectiva incerteza absoluta.

#### B – Competências do tipo conceptual

- Interpretar os resultados obtidos e confrontá-los com as hipóteses de partida e/ou com outros de referência
- Identificar parâmetros que poderão afectar um dado fenómeno e planificar modo(s) de os controlar
- Formular uma hipótese sobre o efeito da variação de um dado parâmetro
- Elaborar um relatório (ou síntese, oralmente ou por escrito, ou noutros formatos) sobre uma actividade experimental por si realizada

#### C – Competências do tipo social, atitudinal e axiológico

- Desenvolver o respeito pelo cumprimento de normas de segurança: gerais, de protecção pessoal e do ambiente

- Apresentar e discutir na turma propostas de trabalho e resultados obtidos
- Utilizar formatos diversos para aceder e apresentar informação, nomeadamente as TIC
- Reflectir sobre pontos de vista contrários aos seus
- Rentabilizar o trabalho em equipa através de processos de negociação, conciliação e acção conjunta, com vista à apresentação de um produto final
- Assumir responsabilidade nas suas posições e atitudes
- Adequar ritmos de trabalho aos objectivos das actividades.

Competências a desenvolver pelos alunos através da preparação, realização e avaliação de actividades práticas (não seleccionadas para esta actividade)

- Seleccionar material de laboratório adequado a uma actividade experimental
- Planear uma experiência para dar resposta a uma questão - problema
- Analisar dados recolhidos à luz de um determinado modelo ou quadro teórico
- Discutir os limites de validade dos resultados obtidos respeitantes ao observador, aos instrumentos e à técnica usados
- Reformular o planeamento de uma experiência a partir dos resultados obtidos
- Interpretar simbologia de uso corrente em Laboratórios de Química (regras de segurança de pessoas e instalações, armazenamento, manipulação e eliminação de resíduos).

#### Material e equipamento por turno

Material e equipamento	Quantidades
Painel fotovoltaico	4
Reóstato	4
Amperímetro	4
Voltímetro	4
Lâmpada	4
Fios de ligação	

### Sugestões para avaliação

- Apresentar possíveis soluções para o problema anterior, fundamentando-as com os resultados experimentais registados em tabelas e no gráfico.
- Estimar a área de painéis fotovoltaicos (associação de módulos) que seria necessária para o funcionamento diário, em simultâneo, de um conjunto determinado de electrodomésticos,
  - conhecendo o rendimento de cada painel e a potência solar média disponível por unidade de área da superfície terrestre (ou a potência útil fornecida por painel, área de iluminação deste e número médio de horas de luz solar por dia na região);
  - calculando a potência total correspondente ao funcionamento do conjunto, tendo em conta a potência de cada painel e a estimativa do tempo de funcionamento diário.

***ANEXO III***

***ANÁLISE DA ABORDAGEM À ACTIVIDADE EXPERIMENTAL AL 1.2  
NO MANUAL "VER+"***



**Tabela organizadora da análise da abordagem à AL 1.2 no manual "Ver+"**

<i>1.ª Parte: Estudo da actividade AL 1.2</i>		
	<i>Conteúdo do manual "Ver+", extraído de Costa (2002)</i>	<i>A nossa leitura</i>
<b>"Questão problema"</b>	Pretende-se instalar painéis solares fotovoltaicos de modo a produzir a energia eléctrica necessária ao funcionamento de um conjunto de electrodomésticos. Como proceder para que o rendimento seja máximo?	A questão problema é exactamente a sugerida no programa.
<b>"Objectivos de aprendizagem"</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Explicitar que a conversão fotovoltaica de energia solar consiste na transformação da energia radiante numa diferença de potencial entre os terminais do painel fotovoltaico</li> <li>- Determinar a potência eléctrica fornecida pelo painel fotovoltaico</li> <li>- Identificar a existência de uma resistência exterior que optimiza o rendimento de um painel fotovoltaico (...)</li> <li>- <u>Explicar que para dimensionar um sistema de conversão fotovoltaico é necessário ter em conta a potência média solar recebida por unidade de superfície terrestre durante o dia (ou número médio de horas de luz solar por dia e a potência a debitar).</u> (sublinhado nosso)</li> </ul>	<p>É importante referir que o programa não refere o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, o que seria relativamente complexo, mas apenas o dimensionamento do dispositivo fotovoltaico.</p> <p>Quando se diz que para dimensionar o sistema (ou o painel, o que é indiferente, neste caso) é necessário conhecer o "número médio de horas de luz solar por dia" e a "potência a debitar", é importante referir que saber o número de horas de luz solar não chega, sendo indispensável saber o valor total da energia radiante que incide no painel num dia. Onde se refere o "número de horas de sol por dia" deveria estar "o valor da insolação".</p>
<b>"Fundamento teórico"</b>	O painel fotovoltaico é um dispositivo constituído por células solares utilizado para converter energia solar em electricidade. <u>A conversão directa de energia solar em corrente eléctrica é realizada nas células solares através do efeito fotoeléctrico, que consiste essencialmente na produção de corrente eléctrica através de radiação incidente obre um material.</u> A radiação incidente (como se sabe das ulas de Química) tem de possuir uma energia superior à energia de ionização do material, o que gera fotoelectrões que são utilizados para gerar corrente eléctrica. (...) (sublinhado nosso)	<p>O funcionamento das células é explicado incorrectamente. O efeito que explica o funcionamento da célula designa-se de fotovoltaico e é distinto do efeito fotoeléctrico.</p> <p>Com a ideia que se passa de que apenas a energia acima de um determinado valor gera corrente eléctrica, não seria possível explicar a curva de sensibilidade de uma célula FV. Isto é, seria de esperar que a corrente fosse tanto maior quanto menor o c.d.o. da radiação incidente. Isto não acontece uma vez que o funcionamento de uma célula fotovoltaica não se baseia no efeito fotoeléctrico mas no efeito fotovoltaico.</p>

1.ª Parte: Estudo da actividade AL 1.2

	Conteúdo do manual "Ver+", extraído de Costa (2002)	A nossa leitura
"Procedimento"	<p>1. Virar o painel solar frontalmente para a lâmpada de incandescência a uma distância de 20 cm.</p> <p>2. Determinar a força electromotriz gerador (<math>\epsilon</math>), ligando os pólos do painel fotovoltaico a um voltímetro (...)</p> <p>3. Determinar a intensidade da corrente máxima (I) fechando o circuito apenas com um amperímetro (...)</p> <p>4. Calcular a potência do Gerador (<math>P_g = \epsilon \cdot I</math>) (...)</p> <p>9. Calcular para cada determinação o rendimento do circuito (<math>\eta = P_u / P_g</math>) (... (sublinhado nosso))</p>	<p>No ponto 2. descreve-se o procedimento para se obter a tensão em circuito aberto, <math>V_{CA}</math>.</p> <p>No ponto 3. descreve-se o procedimento para se obter a corrente em curto-circuito, <math>I_{CC}</math>.</p> <p>No ponto 4, solicita-se o cálculo do produto <math>V_{CA} \times I_{CC}</math>.</p> <p>No ponto 9, onde se refere a fórmula para calcular o rendimento, <u>está antes a fornecer-se a forma de calcular o FF (factor de forma) da célula.</u></p> $\frac{P_u}{V_{CA} \times I_{CC}} = \frac{V \times I}{V_{CA} \times I_{CC}} = FF \neq \eta$ <p>O conceito de factor de forma é tratado no capítulo 2, página 65)</p> <p>Para conhecer o rendimento seria necessário conhecer, para além da potência útil, a potência da radiação incidente.</p> <p>O rendimento "teórico" é calculado para condições <i>STC</i> (<i>standard test conditions</i>) que corresponde a uma radiação solar de <math>1 \text{ kW/m}^2</math> e uma temperatura de <math>25^\circ\text{C}</math>, sendo:</p> $\eta(\%) = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{recebida}}} = \frac{P_{\text{max}} (W)}{1000(W / m^2) \times A(m^2)} \times 100$
"Controlo de variáveis"	<p>As variáveis a estudar são definidas nos últimos procedimentos do protocolo:</p> <p>6. Com o reóstato na resistência mínima, ligar a lâmpada (...)</p> <p>7. Medir os valores de diferença de potencial e intensidade de corrente (...). Calcular a Resistência (<math>R = U/I</math>) e a Potência (<math>P = U \cdot I</math>)</p> <p>8. Tabelar os valores obtidos (...)</p> <p>9. Calcular para cada determinação o rendimento do circuito (<math>\eta = P_u / P_g</math>)</p> <p>10. Repetir o procedimento dos pontos 6, 7 e 8, alterando a resistência no reóstato.</p> <p>11. Sem desligar o circuito varie a posição da lâmpada de incandescência. Que se observa?</p> <p>12. Verifique o que acontece quando se ilumina o painel com uma lâmpada fluorescente.</p> <p>13. Quando não há luz incidente a não ser a do laboratório, ver que corrente é gerada pelo painel fotovoltaico.</p>	<p>O rendimento é aqui indicado como a variável dependente, mas o protocolo deveria no seu lugar considerar a potência útil, uma vez que não nos é possível determinar experimentalmente o rendimento.</p> <p>As variáveis a controlar (independentes):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- a resistência de carga;</li> <li>- a iluminância (pontos 11 e 13)</li> </ul> <p>Não sabemos qual o objectivo de repetir os ensaios com uma lâmpada diferente. Poderia ser para obter uma iluminância diferente, mas para isso bastaria aproximar ou afastar a fonte luminosa. Ao mudar a lâmpada alteram-se as condições de iluminância mas também o espectro de emissão. No entanto, com este procedimento o autor segue uma indicação do programa.</p>

<i>1.ª Parte: Estudo da actividade AL 1.2</i>		
	<i>Conteúdo do manual "Ver+", extraído de Costa (2002)</i>	<i>A nossa leitura</i>
<b>"Material"</b>	1 Painel fotovoltaico, 1 reóstato, 1 amperímetro, 1 voltímetro, 1 lâmpada de incandescência com projector, fios de ligação.	O material aqui mencionado é exactamente o que surge no programa. Refere-se nos procedimentos a utilização de mais uma lâmpada, fluorescente, aqui não mencionada.
<b>Resultados e Cálculos</b>	Construir um gráfico do rendimento em função da resistência para as medidas tabeladas.	Os alunos deverão construir o gráfico de potência útil vs resistência. Não temos acesso ao valor da eficiência do dispositivo fotovoltaico, como já se referiu.
	A partir do gráfico de rendimento, em função da resistência exterior e das restantes observações realizadas, indica formas de otimizar o rendimento de um painel fotovoltaico, no quotidiano.	Do trabalho experimental aqui sugerido, os alunos apenas podem concluir que o painel deverá ser colocado num local em que possa receber luz directa. O "ângulo" deriva da questão problema, mas o autor cria um protocolo rígido e não apela a que os alunos planifiquem o seu trabalho laboratorial, pelo que o "ângulo" não será eventualmente estudado. O valor obtido para a resistência que maximiza a potência, é um valor particular, para determinadas condições de iluminância e temperatura e que depende das características de cada dispositivo, não sendo possível extrapolar para a situação real para a qual a QP remete.
	Responde à questão problema sugerida no início do trabalho, calculando ainda a área necessária para uma associação de painéis fotovoltaicos iguais aos usados no trabalho experimental. Considera, por exemplo, que a potência total média dos electrodomésticos, ao longo das 24 horas, é de 1000 W e que o acumulador que vai debitar a potência requerida tem a resistência que produz o rendimento máximo calculado. Considera ainda que o tempo de insolação médio (horas em que há Sol) em Portugal é de doze horas.	Nesta questão pretende-se retomar o valor da eficiência do painel, o que, como já referimos, não teremos acesso (a não ser que o fabricante o informe, mas tratar-se-á nesse caso de um valor teórico).  Sabendo do enunciado apenas o número de "horas em que há sol", os alunos não terão dados para resolver o problema. O conceito de insolação é muito importante e está aqui mal definido. A insolação varia de região para região do nosso país, mas seria aceitável tomar um valor médio, que não deveria exceder cerca de 8 HSP (a noção de insolação é tratada no capítulo 2, página 38).



***ANEXO IV***

***ANÁLISE DE ABORDAGENS À ACTIVIDADE EXPERIMENTAL AL 1.2  
EM ALGUNS MANUAIS ESCOLARES***





## 2.2

## Actividade AL1.2: Protocolo da actividade laboratorial/experimental

Índice	A		B		C		D		E		F		G	
	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não
<i>A Questão-Problema é a sugerida no programa</i>	X		X		X		X		X		X		X	
<i>As características dos materiais são referenciadas</i>	x			X		X			X			X		X
<i>É apresentado/ descrito o esquema da montagem</i>	X		X		X				X		X		X	
<i>Solicita-se a determinação da curva característica da célula</i>	X			X		X				X		X		X
<i>As variáveis a controlar explicitadas</i>		X	X		X					X				X
	X			X					X				X	
		X		X				X					X	
		X	X		X				X				X	
<i>Temperatura</i>		X		X					X				X	
<i>A listagem do material está de acordo com o que é pedido</i>	x			X		X			X			X		X
<i>Refere as quais as variáveis independente e dependente</i>			X		X					X		X		X
<i>Tipo de Protocolo</i>	Fechado		Fechado		Aberto		Fechado (aberto no início)		Aberto		Aberto		Fechado	
<i>Comentários</i>	Só não referem as características do painel		Remete para o cálculo do rendimento em vez da potência											

2.3 Actividade A1.1.2: Actividades pós-laboratoriais

<b>Livrato</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
<i>Não apresenta actividades pós-laboratoriais</i>	X						
<i>Realização de um relatório</i>							
<i>Remete para a análise dos resultados experimentais</i>	x		X	X		X	X
<i>Remete para a(s) resposta(s) à questão-problema</i>		X	X	X			X
<i>Dimensionamento de um PV</i>		X		X		X	X
<i>Comentários</i>	Não se apresenta uma questão-problema, mas o objectivo da actividade	Noção de insolação incorrecta		O dimensionamento não traduz uma situação real			Questão 3 confusa; Informação insuficiente para responder a algumas questões

Legenda: ● A evitar ✓ Aceitável ✓ Razoável ✓✓ Bom ✓✓✓ Muito bom

### Considerações gerais a relevar

Língua	Considerações gerais	Classificação
A	A informação fornecida sobre o fotovoltaico é reduzida e pouco relevante. O protocolo experimental focaliza o estudo da variável "ângulo" e apresenta análise dos resultados de parte da actividade. Não apresenta uma questão-problema e constrói o protocolo de forma fechada conduzindo a realização da AL1.2, sem permitir que os alunos planifiquem o seu trabalho.	✓
B	A informação fornecida é reduzida e pouco rigorosa. O protocolo remete para o cálculo do rendimento, variável tomada como dependente, em vez da potência da célula e para a qual não existem dados para que seja correctamente calculado.	●
C	O fundamento teórico reúne a informação relevante sobre o fotovoltaico, fornecendo informações úteis para a AL1.2. O protocolo experimental adequa-se à dimensão da actividade e orienta os alunos na sua planificação da actividade e posterior análise de resultados. As actividades pré-laboratoriais complementam satisfatoriamente a informação fornecida e a trabalhada pelos alunos na AL1.2.	✓✓
D	O efeito fotovoltaico é explicado com algum detalhe e referem-se diversas aplicações dos painéis FV. Aborda a questão problema no interior do capítulo, apresentando um gráfico P-R semelhante ao que será elaborado na AL1.2. Apresenta exercícios de dimensionamento de painéis, mas os valores numéricos adoptados são pouco realistas e não introduz o conceito de insolação. O protocolo experimental apela inicialmente à planificação da experiência por parte dos alunos, mas de seguida apresenta um vasto conjunto de questões orientadoras, incluindo as tabelas a utilizar. Não remete para a interposição de filtros, estudando apenas o "ângulo" e a "altura da lâmpada". Nota: O livro do professor apresenta alguns resultados experimentais e dá algumas indicações.	✓✓
E	A informação fornecida é bastante completa no que respeita à sua utilização, mas pobre no que diz respeito ao seu funcionamento. A actividade experimental aparece simplificada, solicitando apenas o estudo do "ângulo" num protocolo bastante aberto. A questão do dimensionamento requer alguma informação adicional e que se deve ter em consideração.	✓✓
F	Informação muito pobre. Não aborda a física das células fotovoltaicas, fazendo apenas breves considerações sobre o cumprimento das metas da UE e algumas aplicações. A AL segue de perto o que é pedido pelo ME, sem fazer alterações na construção do protocolo, que é desta forma, relativamente aberto.	✓
G	A informação sobre o tema é vaga, pouco aprofundada. A unidade contém informação útil a consultar, como o espectro de emissão solar e a variação da altura do Sol ao longo do ano. A AL1.2 segue directamente as orientações do ME, sem controlar todas as variáveis possíveis. Nunca aborda a curva característica da célula, nem dá indicações fundamentais para resolver as questões de dimensionamento do FV.	✓✓

***ANEXO V***

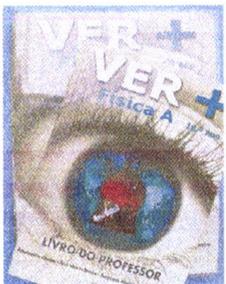
***ANÁLISE DE ABORDAGENS À ACTIVIDADE EXPERIMENTAL AL 1.2  
EM ALGUNS MANUAIS ESCOLARES (TABELAS SÍNTESE)***



**Tabela síntese de análise da abordagem à AL 1.2 no manual escolar "Desafios da Física"**

<i>Manual &amp; apreciação</i>	<i>Análise do manual com base nas categorias definidas</i>		<i>Considerações gerais</i>
 <p><i>Desafios da Física</i> (1.ª ed.)</p> <p><i>Apreciação: ✓</i></p>	<i>Física das células FV e aplicações/ Abordagem</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☹ O livro de texto não aborda o tema, a não ser no protocolo experimental;</li> <li>☹ No protocolo não é feita introdução teórica;</li> <li>☺ Há uma breve referência às curvas características na análise de resultados.</li> </ul>	<p>A informação fornecida sobre o fotovoltaico é reduzida e pouco relevante. O protocolo experimental focaliza o estudo da variável "ângulo" e apresenta análise dos resultados de parte da actividade. Não apresenta uma questão-problema e constrói o protocolo de forma fechada conduzindo a realização da AL1.2, sem permitir que os alunos planifiquem o seu trabalho.</p>
	<i>Actividade experimental</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☹ Não apresenta QP.</li> <li>☹ As características dos materiais não estão devidamente referenciadas;</li> <li>☺ Apresenta um protocolo satisfatório mas fechado;</li> <li>☹ Não solicita o estudo dos factores intensidade da radiação incidente e interposição de filtros.</li> </ul>	
	<i>Actividades pré e pós laboratoriais/ Outros comentários</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☹ Não tem actividade pré-laboratorial;</li> <li>☺ As questões pós-laboratoriais remetem apenas para análise de resultados.</li> </ul>	

Tabela síntese de análise da abordagem à AL 1.2 no manual escolar "Ver +"

Manual & apreciação	Análise do manual com base nas categorias definidas		Considerações gerais
 <p>Ver + (1.<sup>a</sup> ed.).</p> <p><b>Apreciação:</b> ●</p>	<p><i>Física das células FV e aplicações/ Abordagem</i></p>	<p>☹️ O livro de texto não aborda o tema, a não ser no protocolo experimental;</p> <p>☹️ No protocolo há uma breve introdução teórica, na qual há referência à forma de funcionamento (insatisfatória).</p>	<p>A informação fornecida é reduzida e pouco rigorosa. O protocolo remete para o cálculo do rendimento, variável tomada como dependente, para a qual não existem dados para que seja correctamente calculada.</p> <p>O protocolo é fechado, definindo todos os passos que o aluno deve realizar, mas não remete para algumas das variáveis que se pretende que os alunos estudem.</p>
	<p><i>Actividade experimental</i></p>	<p>☹️ A QP é a do programa;</p> <p>☹️ As características dos materiais não são referenciadas;</p> <p>☹️ Apresenta um protocolo fechado insatisfatório; Discordamos com a forma de cálculo do rendimento do painel, variável tomada como dependente no lugar da potência útil da célula;</p> <p>☹️ Não solicita o estudo dos factores inclinação da radiação incidente e interposição de filtros.</p>	
	<p><i>Actividades pré e pós laboratoriais/ Outros comentários</i></p>	<p>☹️ Não tem actividade pré-laboratorial;</p> <p>A actividade pós laboratorial remete para:</p> <p>☹️ Apresentação dos resultados experimentais (gráficos rendimento vs resistência) e solução da questão-problema;</p> <p>☹️ Estimativa da área;</p>	

**Tabela síntese de análise da abordagem à AL 1.2 no manual escolar "10F"**

<i>Manual &amp; apreciação</i>	<i>Análise do manual com base nas categorias definidas</i>		<i>Considerações gerais</i>
 <p>10F (1.ª ed.).</p> <p><b>Apreciação:</b> ✓✓✓</p>	<p><i>Física das células FV e aplicações/ Abordagem</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☹ O livro de texto não aborda o tema, a não ser no protocolo experimental.</li> <li>☺ No protocolo há uma introdução teórica, na qual há referência à forma de funcionamento, à curva tensão-corrente e referidas algumas aplicações práticas.</li> </ul>	<p>O fundamento teórico reúne a informação relevante sobre o fotovoltaico, fornecendo informações úteis para a AL1.2. O protocolo experimental adequa-se à dimensão da actividade e orienta os alunos na sua planificação e posterior análise de resultados. As actividades pré-laboratoriais complementam satisfatoriamente a informação fornecida e a trabalhada pelos alunos na AL1.2.</p>
	<p><i>Actividade experimental</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☹ A QP é a do programa;</li> <li>☹ As características dos materiais não são referenciadas.</li> <li>☹ Não apresenta um protocolo fechado.</li> <li>☺ A planificação da actividade refere quais os objectivos a cumprir e apresenta questões orientadoras.</li> </ul>	
	<p><i>Actividades pré e pós laboratoriais/ Outros comentários</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☺ Tem actividade pré-laboratorial que remete para a pesquisa sobre vantagens e desvantagens dos painéis FV. Apresenta outras questões como o dimensionamento dos painéis.</li> <li>☺ As questões pós-laboratoriais remetem para análise de resultados e solução da questão-problema.</li> </ul> <p>Sugere que cada dois grupos estudem a influência de um factor.</p>	



*ANEXO VI*

*SIMULAÇÃO DA ÁREA E CUSTOS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO*







*ANEXO VII*

*GUIÃO DO ALUNO RELATIVO À ACTIVIDADE EXPERIMENTAL AL 1.2  
(COM AS ALTERAÇÕES SUGERIDAS NO PONTO 4.4.2, P. 162)*



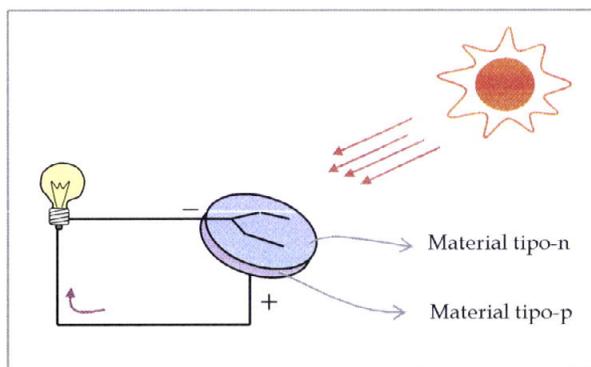
**Título:** Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico (AL 1.2)

**Questão problema:** Pretende-se instalar módulos fotovoltaicos de modo a produzir a energia eléctrica necessária para alimentar um sistema de ventilação (de 50 W\*) num automóvel/ numa tenda de campismo/num barco de recreio. Como proceder para que a eficiência do dispositivo fotovoltaico seja máxima? Como poderias regular a intensidade da ventilação (sem necessitar de recorrer a componentes electrónicos)?

\* O problema pode colocar-se das diferentes formas, devendo o professor escolher o contexto de maior interesse para os seus alunos.

### Fundamento teórico:

A palavra fotovoltaica deriva da palavra grega "*phos*" que significa luz e de "*volta*", cientista italiano que deu o seu nome à unidade SI de potencial eléctrico. Uma célula fotovoltaica é um dispositivo que converte directamente a energia solar em energia eléctrica. A corrente eléctrica obtida pelo painel é contínua e pode ser convertida em corrente alternada ou ser armazenada em baterias para uso posterior.



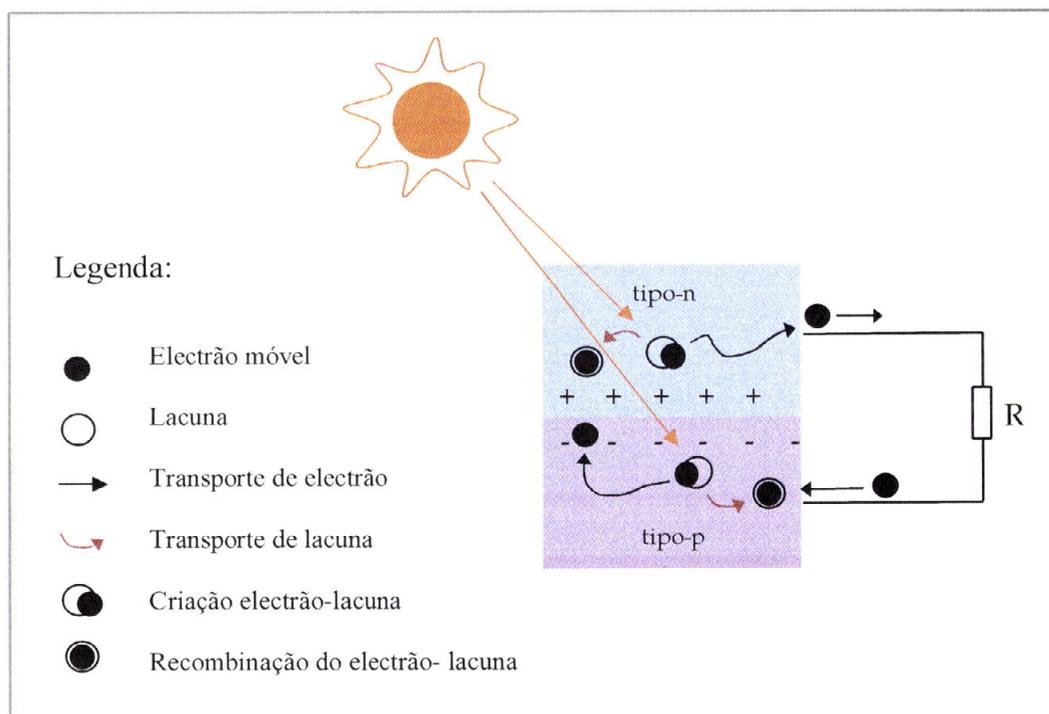
**Figura 1 - Célula fotovoltaica: gera corrente contínua a partir da radiação solar.**

Hoje existem diversos tipos de células, sendo o material semiconductor mais utilizado, o silício. Este, depois de purificado, é dopado de forma obterem-se materiais com características diferentes, *tipo-p* e *tipo-n*. Uma célula é constituída por duas bolachas de silício, uma de cada material. Quando se juntam os dois materiais, o tipo-p e o tipo-n (figura 1), cria-se uma zona especial designada por junção p-n, que servirá de moderador do fluxo de electrões, uma vez que evita a sua passagem no sentido do material tipo-n para o tipo-p.

Quando há incidência de radiação, alguns fótons são absorvidos e os electrões ligados adquirem energia suficiente para se tornarem móveis, deixando no material buracos (ou lacunas). Parte destas cargas criadas, electrões e lacunas, são então, separadas pela junção pn. Se esta junção não existisse as cargas criadas reencontrariam-se, aniquilando-se, processo ao qual chamamos recombinação. As células estão concebidas de forma a evitar que a recombinação ocorra antes das cargas serem separadas.

Para que a junção separe as cargas é importante que a sua criação ocorra perto da junção. Deste modo a parte exposta à luz, a bolacha do material tipo n é extremamente delgada.

Os electrões têm tendência para se deslocarem para a zona p, mas como a zona pn evita essa passagem, ela ocorrerá caso exista um fio condutor que estabeleça um circuito externo, havendo fluxo de corrente. Enquanto houver radiação incidente, este processo repetir-se-á e haverá corrente a fluir no circuito.



**Figura 2 - Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica**

Não havendo incidência de radiação sobre a célula, não há criação de electrões móveis e lacunas, pelo que não há separação de cargas e portanto não há corrente no circuito exterior à célula.

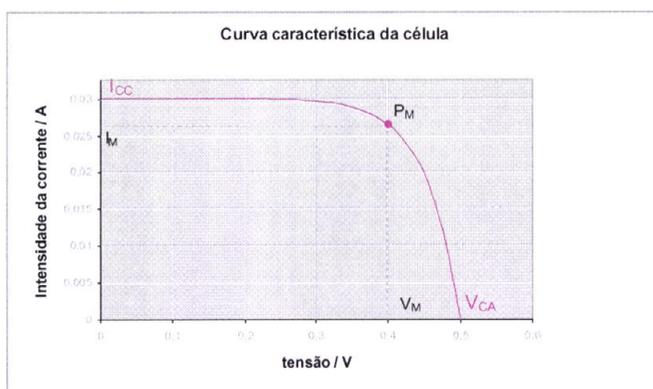
## Curvas características das células fotovoltaicas

O que caracteriza uma célula fotovoltaica é a d.d.p. nos seus terminais e a corrente eléctrica que fornece, para diferentes valores da resistência de carga. Se forem alteradas as condições exteriores como a intensidade luminosa, a temperatura ou o comprimento de onda da radiação incidente, alteram-se os valores da corrente e da tensão de funcionamento da célula. Estas alterações podem ser verificadas através das suas curvas características.

### Curva característica tensão-corrente

A curva corrente-tensão caracteriza o sinal de saída de uma célula fotovoltaica. Para se obter esta curva, faz-se variar a resistência de carga, mantendo constantes as restantes condições exteriores. Relativamente a esta curva há a destacar alguns pontos, como:

- Corrente de curto-circuito ( $I_{cc}$ ): máxima corrente que o dispositivo pode entregar, a tensão nula;
- Tensão de circuito aberto ( $V_{ca}$ ): máxima tensão que o painel fornece, em circuito aberto.



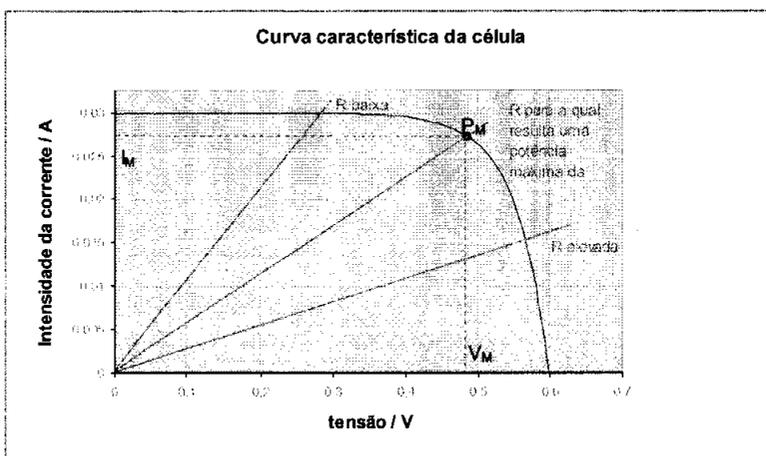
**Figura 3 - Curva característica da célula e representação do ponto de máxima potência**

- O máximo valor de potência ( $P_M$ ) que o painel pode fornecer corresponde ao ponto da curva em que  $U \times I$  é máximo, que corresponde ao valor da área do rectângulo representado na figura 3.

### Interação com uma resistência exterior

Quando se liga o módulo a um receptor, o ponto de operação do módulo fotovoltaico será o da intersecção da sua curva característica com a curva característica do receptor. No gráfico considera-se uma resistência constante.

Existe um valor da resistência que se intercala no circuito para o qual a potência fornecida pelo módulo será máximo.



**Figura 4 - Interação de uma resistência exterior (R) com o funcionamento do módulo fotovoltaico**

A tensão de saída no ponto de potência máxima de uma célula é aproximadamente de 0,5 V.

Para se obterem tensões maiores, de forma a carregar uma bateria de 12V ou alimentar receptores de maior potência, ligam-se em série várias células (as suas tensões somam-se) formando um módulo fotovoltaico. Para formar painéis fotovoltaicos, associam-se vários módulos consoante as necessidades.

O bom aproveitamento dos painéis solares depende de factores exteriores como o seu dimensionamento, localização e orientação.

## Actividade Experimental AL 1.2 – Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico

**Estação Laboratorial 1:** Estudo da curva característica tensão-corrente.

### Montagem experimental:

O circuito eléctrico da figura 1 pretende simular o teu receptor ligado a um gerador fotovoltaico, em que o reóstato permite simular a resistência interna do receptor.

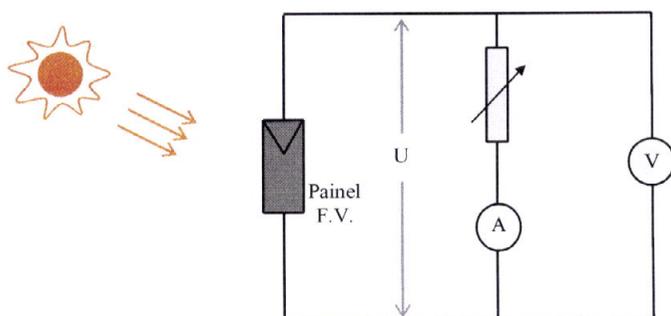


Figura 1 - Esquema do circuito eléctrico da montagem experimental

**Material:** 1 painel fotovoltaico 0,5 V, 1 reóstato (0-30)  $\Omega$ , 1 amperímetro, 1 voltímetro, 1 candeeiro com lâmpada (100 W), 1 luxímetro, fios de ligação e 1 fita métrica.

**Duração:** 90 minutos.

### Procedimento experimental:

1. Caracteriza as escalas dos aparelhos utilizados e regista as respectivas incertezas de leitura.
2. Faz a montagem indicada no esquema da figura 1, utilizando o candeeiro com a lâmpada de 100 W como a fonte luminosa. A figura 2 mostra a fotografia da respectiva montagem experimental.

Estabelece uma distância da lâmpada à célula de aproximadamente 40 cm.

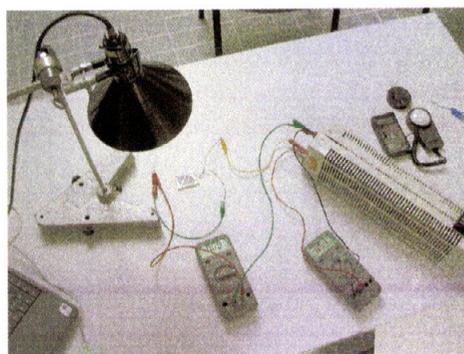


Figura 2 - Fotografia da montagem experimental

3. Planifique o modo de realização da actividade sabendo que o objectivo é medir a potência fornecida pela célula fotovoltaica para vários valores da resistência, para um dado valor da intensidade luminosa.
  - i) Indique que medições se devem realizar para calcular a potência da célula.
  - ii) Construa a tabela (com as grandezas adequadas) que lhe permitirá representar graficamente:
    - a variação da intensidade da corrente com a d.d.p.
    - a variação da potência com a resistência.
  - iii) Realize a experiência e registe os dados adquiridos.

#### **Análise de resultados:**

1. Represente graficamente a variação da intensidade da corrente com a d.d.p., obtendo a curva "característica do gerador tensão corrente", para uma dada intensidade da radiação incidente.
  - i) Se dispuser de um luxímetro, indica o valor da intensidade luminosa; caso contrário, indique a distância da célula à lâmpada.
  - ii) Determine o valor da resistência para a qual se começa a verificar a quebra nos valores da corrente.
2. Represente graficamente a variação da potência com a resistência de carga, traçando a curva que melhor se ajusta aos pontos experimentais, para o mesmo valor da intensidade da corrente que em 1.
  - i) Verifique se existe algum valor da resistência que maximiza a potência fornecida pela célula fotovoltaica.
  - ii) Compare a sua resposta com a obtida na alínea 1. ii).

## Actividade Laboratorial AL 1.2 – Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico

**Estação Laboratorial 2:** Estudo da influência do ângulo de incidência da radiação incidente.

### Montagem experimental:

O circuito eléctrico da figura 1 pretende simular o teu receptor ligado a um gerador fotovoltaico, em que o reóstato permite simular a resistência interna do receptor.

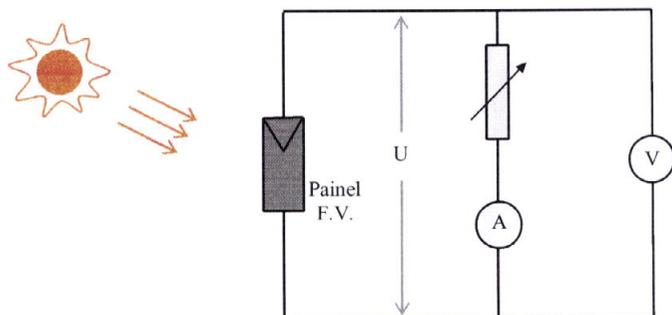


Figura 1 - Esquema do circuito eléctrico da montagem experimental

**Material:** 1 painel fotovoltaico 0,5 V, 1 reóstato (0-30)  $\Omega$ , 1 amperímetro, 1 voltímetro, 1 candeeiro com lâmpada (100 W), 1 luxímetro, fios de ligação e 1 fita métrica.

**Duração:** 90 minutos.

### Procedimento experimental:

1. Caracteriza as escalas dos aparelhos utilizados e regista as respectivas incertezas de leitura.
2. Faz a montagem indicada no esquema da figura 1, utilizando o candeeiro com a lâmpada de 100 W como a fonte luminosa. A figura 2 mostra a fotografia da respectiva montagem experimental.

Estabelece uma distância da lâmpada à célula de aproximadamente 40 cm.

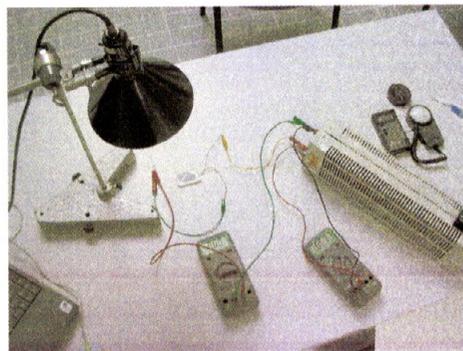
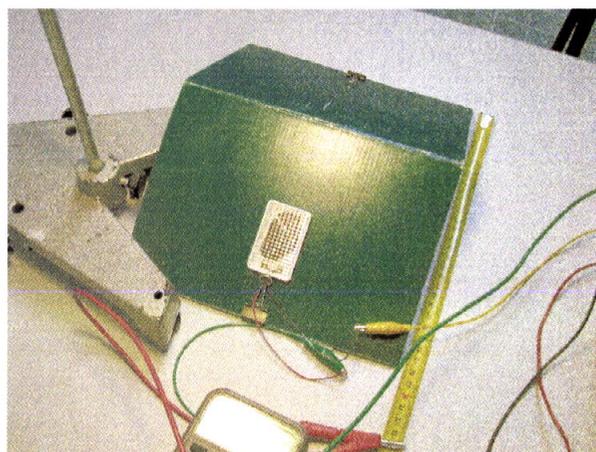


Figura 2 - Fotografia da montagem experimental

3. Planifique o modo de realização da actividade sabendo que o objectivo é medir a potência fornecida pela célula fotovoltaica para vários valores da resistência, para um dado valor da intensidade luminosa.
  - i) Indique que medições se devem realizar para calcular a potência da célula.
  - ii) Construa a tabela (com as grandezas adequadas) que lhe permitirá representar graficamente a variação da potência com a resistência.
  - iii) Realize a experiência e registre os dados adquiridos.
4. Pretende-se averiguar como varia a potência da célula para diferentes valores do ângulo de incidência da radiação. Faça o controlo de variáveis adequado.

- i) Construa a tabela (com as grandezas adequadas) que lhe permitirá representar graficamente a variação da potência com a resistência para diferentes ângulos de incidência da radiação.
- ii) Realize a experiência e registre os dados adquiridos.



**Fig. 4 - Representação de um processo possível para medição do ângulo entre a radiação incidente e a célula**

#### **Análise de resultados:**

1. Represente graficamente a variação da potência com a resistência de carga, traçando a curva que melhor se ajusta aos pontos experimentais, para um dado valor do ângulo de incidência da radiação.
  - i) Verifique se existe algum valor da resistência que maximize a potência fornecida pela célula fotovoltaica.
2. Represente graficamente a variação da potência máxima com a resistência de carga para os diferentes ângulos de incidência da radiação.
  - i) Conclua acerca do ângulo que maximiza a potência da célula.
  - ii) Averigúe se para diferentes valores do ângulo de incidência da radiação o valor da resistência que otimiza a eficiência da célula se altera.
3. Responda à questão-problema.

## Actividade Laboratorial AL 1.2 – Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico

**Estação Laboratorial 3:** Estudo da influência da interposição de filtros.

### Montagem experimental:

O circuito eléctrico da figura 1 pretende simular o teu receptor ligado a um gerador fotovoltaico, em que o reóstato permite simular a resistência interna do receptor.

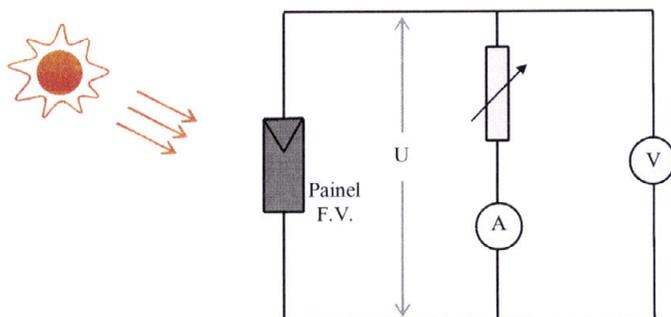


Figura 1 - Esquema do circuito eléctrico da montagem experimental

**Material:** 1 painel fotovoltaico 0,5 V, 1 reóstato (0-30)  $\Omega$ , 1 amperímetro, 1 volímetro, 1 candeeiro com lâmpada (100 W), 1 luxímetro, fios de ligação e 1 fita métrica.

**Duração:** 90 minutos.

### Procedimento experimental:

1. Caracteriza as escalas dos aparelhos utilizados e regista as respectivas incertezas de leitura.
2. Faz a montagem indicada no esquema da figura 1, utilizando o candeeiro com a lâmpada de 100 W como a fonte luminosa. A figura 2 mostra a fotografia da respectiva montagem experimental.

Estabelece uma distância da lâmpada à célula de aproximadamente 40 cm.

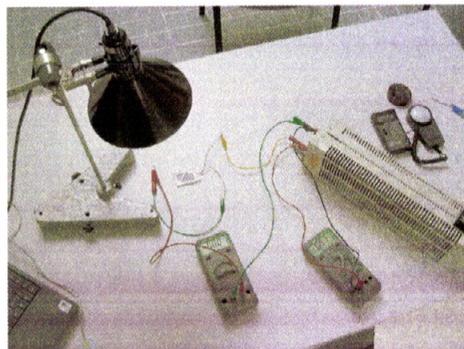
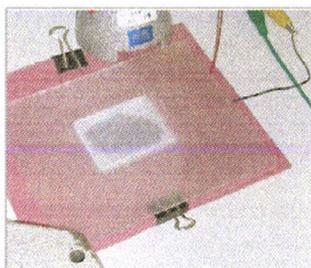


Figura 2 - Fotografia da montagem experimental

3. Planifique o modo de realização da actividade sabendo que o objectivo é medir a potência fornecida pela célula fotovoltaica para vários valores da resistência, para um dado valor da intensidade luminosa.
  - i) Indique que medições se devem realizar para calcular a potência da célula.
  - ii) Construa a tabela (com as grandezas adequadas) que lhe permitirá representar graficamente a variação da potência com a resistência.
  - iii) Realize a experiência e registre os dados adquiridos.
  
4. Pretende-se averiguar como varia a potência da célula quando se interpõe um vidro fosco e outros filtros coloridos entre a radiação incidente e a célula (ver figura 3), para um dado valor da intensidade luminosa. Faça o controlo de variáveis adequado.



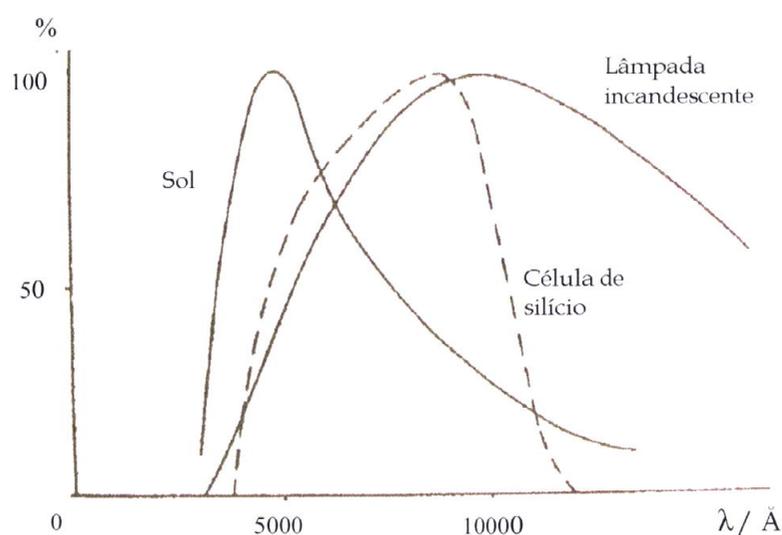
**Figura 3 - Interposição do vidro fosco entre a luz incidente e a célula**

- i) Construa a tabela (com as grandezas adequadas) que lhe permitirá representar a variação da potência com a resistência com a interposição dos diferentes filtros.
- ii) Realize a experiência e registre os dados adquiridos.

#### **Análise de resultados:**

1. Represente graficamente a variação da potência com a resistência de carga, traçando a curva que melhor se ajusta aos pontos experimentais, sem utilizar qualquer filtro.
  - i) Verifique se existe algum valor da resistência que maximize a potência fornecida pela célula fotovoltaica.

2. Represente graficamente a variação da potência com a resistência de carga para cada um dos filtros utilizados, para o mesmo valor da intensidade da corrente.
  - i) Averigúe se o valor da resistência que otimiza a eficiência da célula se altera consoante o filtro utilizado.
  - ii) Compare as potências máximas obtidas para cada filtro.
  
3. A figura 4 mostra o espectro de emissão do Sol ( $T \sim 5800\text{K}$ ), de uma lâmpada incandescente ( $T \sim 2000\text{K}$ ) e a curva espectral de sensibilidade de uma célula fotovoltaica de silício. Com base nesta informação, compare os resultados obtidos para os diferentes filtros coloridos.



**Fig. 4- Representação dos espectros do Sol e de uma lâmpada e o espectro de sensibilidade de uma célula**

4. No caso de o céu estar nublado, um painel fotovoltaico poderá fornecer energia eléctrica? Responda com base nos resultados experimentais obtidos.
  
3. Responda à questão-problema.



## Actividade Laboratorial AL 1.2 – Energia eléctrica fornecida por um painel fotovoltaico

**Estação Laboratorial 4:** Estudo da influência da intensidade luminosa da radiação incidente.

### Montagem experimental:

O circuito eléctrico da figura 1 pretende simular o teu receptor ligado a um gerador fotovoltaico, em que o reóstato permite simular a resistência interna do receptor.

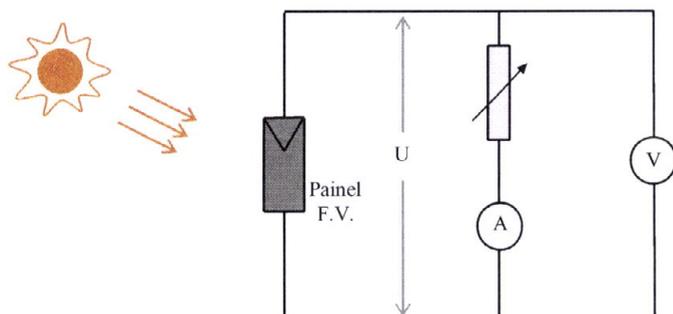


Figura 1 - Esquema do circuito eléctrico da montagem experimental

**Material:** 1 painel fotovoltaico 0,5 V, 1 reóstato (0-30)  $\Omega$ , 1 amperímetro, 1 voltímetro, 1 candeeiro com lâmpada (100 W), 1 luxímetro, fios de ligação e 1 fita métrica.

**Duração:** 90 minutos.

### Procedimento experimental:

1. Caracteriza as escalas dos aparelhos utilizados e regista as respectivas incertezas de leitura.
2. Faz a montagem indicada no esquema da figura 1, utilizando o candeeiro com a lâmpada de 100 W como a fonte luminosa. A figura 2 mostra a fotografia da respectiva montagem experimental.

Estabelece uma distância da lâmpada à célula de aproximadamente 40 cm.

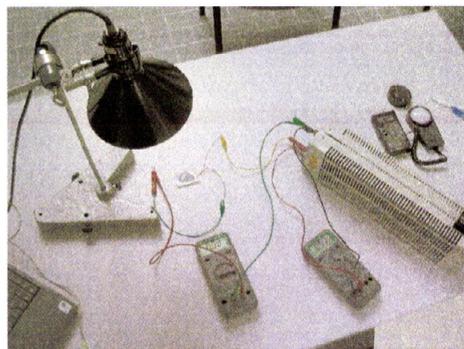


Figura 2 - Fotografia da montagem experimental

3. Planifique o modo de realização da actividade sabendo que o objectivo é medir a potência fornecida pela célula fotovoltaica para vários valores da resistência para diferentes valores da intensidade luminosa.
  - i) Indique que medições se devem realizar para calcular a potência da célula.
  - ii) Construa a tabela (com as grandezas adequadas) que lhe permitirá representar graficamente a variação da potência com a resistência.
  - iii) Averigúe se para diferentes valores da intensidade luminosa o valor da resistência que otimiza a eficiência da célula se altera.

Faça as alterações que considerar convenientes de forma a analisar a questão, retirando dados para três valores diferentes da intensidade luminosa (L1, L2 e L3).
  - iv) Averigúe como varia a potência fornecida pela célula com a intensidade da radiação incidente.
4. Realize a experiência e registre os dados adquiridos.

#### **Análise de resultados:**

1. Represente graficamente a variação da potência com a resistência de carga, traçando a curva que melhor se ajusta aos pontos experimentais, para o valor da intensidade luminosa L1.

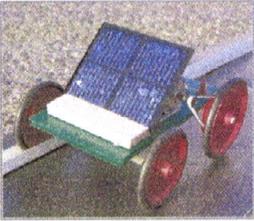
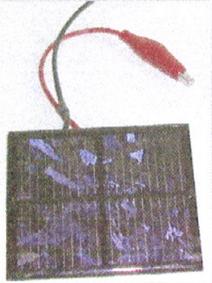
Verifique se existe algum valor da resistência que maximize a potência fornecida pela célula fotovoltaica.
2. Represente graficamente a variação da potência com a resistência de carga para os restantes valores da intensidade luminosa (L2 e L3).
  - i) Compare os gráficos obtidos para as várias intensidades luminosas. Que conclui?
3. Responda à questão-problema.

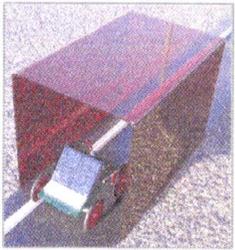
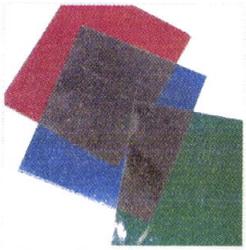
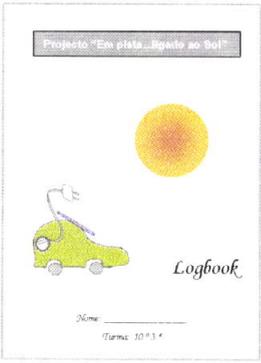
*ANEXO VIII*

*MATERIAIS PARA O PROJECTO "EM PISTA... LIGADO AO SOL":  
CUSTOS E LOCAIS DE AQUISIÇÃO*



**LISTA DE MATERIAL NECESSÁRIO À IMPLEMENTAÇÃO DO  
PROJECTO “EM PISTA... LIGADO AO SOL”**

<i>Material</i>	<i>Imagem</i>	<i>Descrição do material</i>	<i>Local de compra</i>	<i>Preço</i>	<i>Quantidade</i>
<b>Kit “carro solar”</b>		<b>1 célula fotovoltaica</b> de 1 V 400 mA <b>1 motor</b> e restante material para construção do carro (rodas, eixos, elástico de transmissão).	Via internet <i>Sun Wind Solar Industries Inc., Canada</i> <a href="http://www.sunwind.ca">www.sunwind.ca</a>	\$19 US/unidade +\$15 US de envio	1 por grupo
<b>célula FV</b>		1 célula fotovoltaica com as mesmas características da do <i>kit solar</i>	Via internet <i>Sun Wind Solar Industries Inc., Canada</i> <b>www.sunwind.ca</b>	9 €/unidade (encomendado com os carros)	Pode utilizar-se a célula que está incluída no <i>kit</i>
<b>estrada</b>		Tapete de borracha (200X18) cm  Placas de esferovite (200x18) cm	Aki (ou outra loja de Bricolage)	8,25 €/m <sup>2</sup> (variável com o padrão)  7,15 €/placa de (2x1) m	3 por pista  3 por pista
<b>calhas</b>		Calha em “U” para estrada (260 cm)	Aki (ou outra loja de Bricolage)	1,7 €	2 por pista

<i>túneis</i>		Peças de acrílico colorido de 3 mm de espessura, em forma de “U” (verde, vermelho e azul)	Dagol (ou outra loja de acrílicos)	~18 €/ túnel	(2 azuis, 2 verdes, 2 vermelhos, 6 pretos) Por pista
<i>filtros</i>		Peças de acrílico colorido (70x80X3)mm (verde, vermelho e azul)	Dagol (ou outra loja de acrílicos)	2,5 €/conjunto	4 conjuntos
<i>Sistema de medição de tempo</i>		Cabos de extensão Material electrónico	Loja de material eléctrico/electrónico	2,5 € Só material para o cabo de extensão. Admitimos que existem digitímetros na escola	1 por pista
<i>logbooks</i>		Encadernação capas, corte de folhas e fotocópias	Loja de fotocópias	Variável 0-3,5 €/ unidade, Consoante a possibilidade de recorrer a recursos da escola	1 por aluno

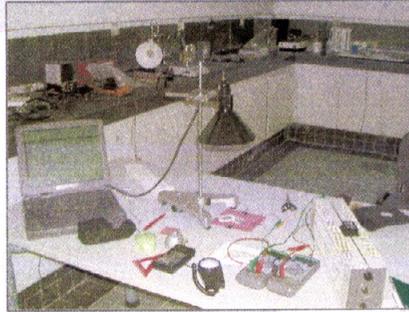
Foi realizado um cálculo para uma turma de 8 grupos, considerando apenas a montagem de uma pista e estimou-se um custo para a implementação do projecto de aproximadamente 200 €, incluindo o custo dos *logbooks*.

*ANEXO IX*

*SLIDES DE SUPORTE À 1.<sup>a</sup> AULA*



## Da Energia Solar à Energia Eléctrica



Escola Secundária Rainha D. Leonor  
Professoras: Ana Júlia e Ângela Costa  
Turma: 10.º 3.ª 26. Abril. 2005

1

## Da Energia Solar à Energia Eléctrica

### Agenda

- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- A Energia Solar
- A Física das células fotovoltaicas
- Apresentação do projecto

### Agenda

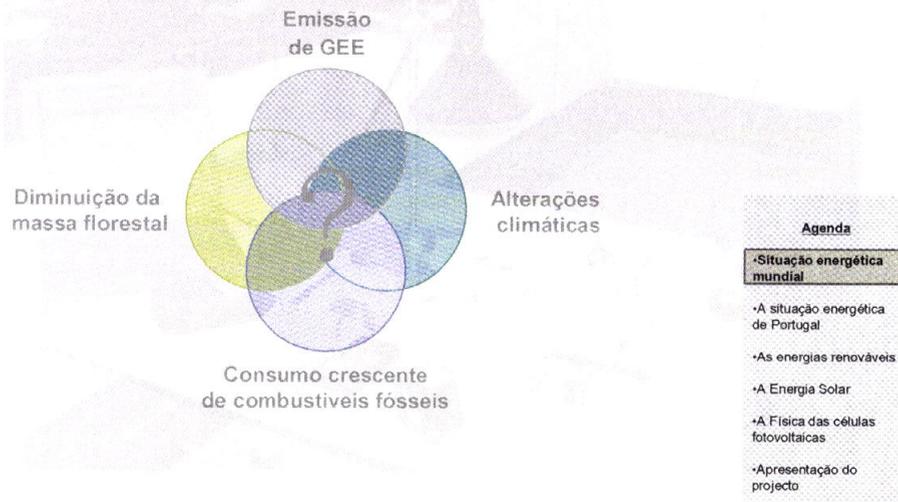
#### • Situação energética mundial

- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- A Energia Solar
- A Física das células fotovoltaicas
- Apresentação do projecto

2

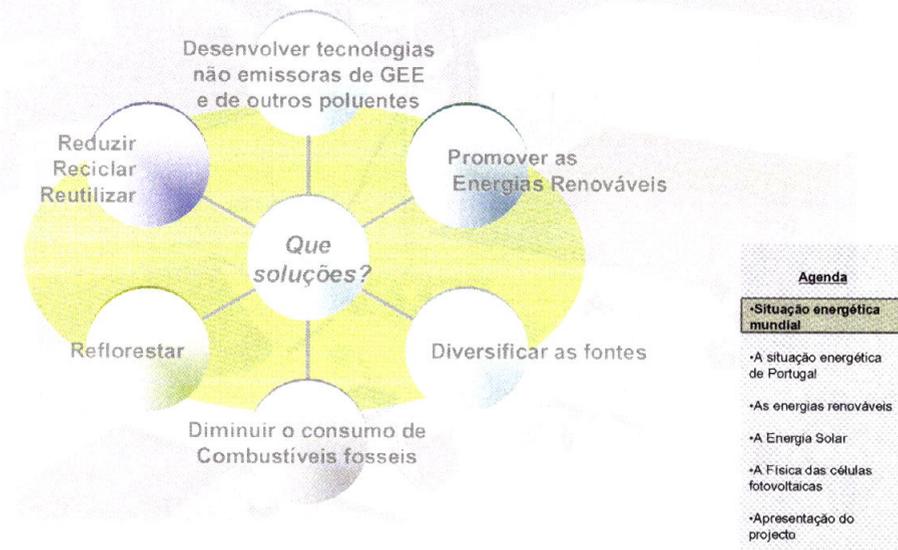
O *slide 1* pretende colocar o paralelo entre as fontes de energia renováveis, nomeadamente, o Sol e não renováveis na produção de energia eléctrica e fazer a ponte para o trabalho de investigação a desenvolver em contexto laboratorial (a imagem mostra o laboratório da Universidade de Évora); o *slide 2* apresenta a agenda desta apresentação.

## A situação energética mundial: perspectiva ambiental



3

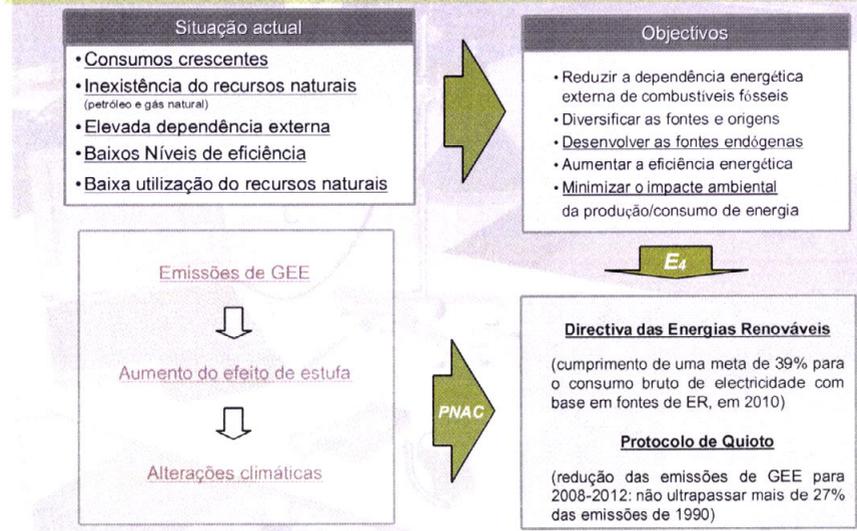
## A situação energética mundial: perspectiva ambiental



4

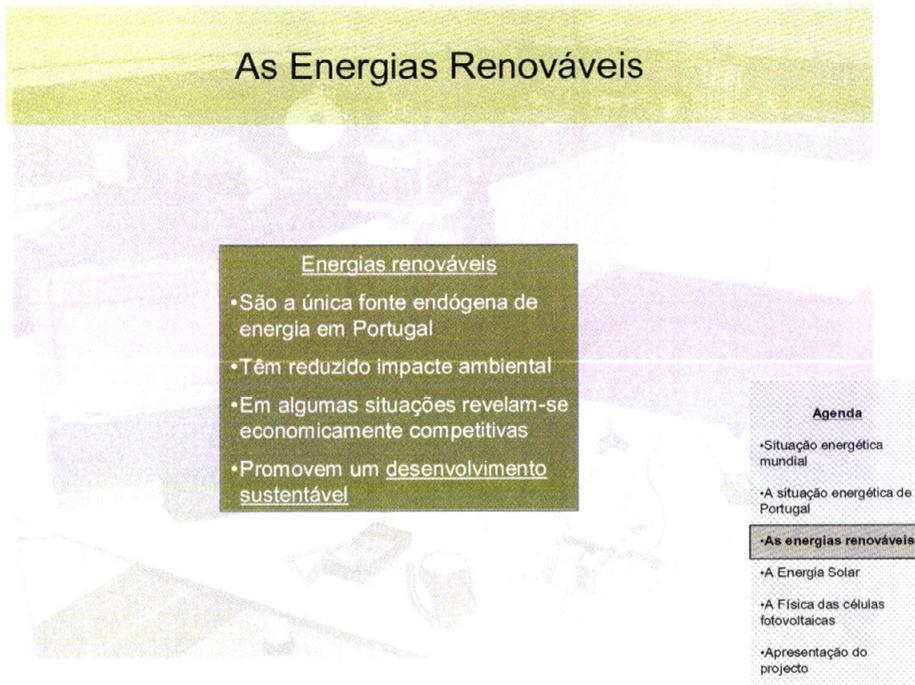
O *slide 3* pretende sensibilizar os alunos para alguns problemas actuais que exigem a nossa atenção e apresentam-se no *slide 4* algumas soluções que se impõem.

## A situação energética de Portugal: presente e futuro



5

## As Energias Renováveis



6

O *slide 5* aborda a situação energética do nosso país e apresenta-se no *slide 6*, e neste contexto, o papel das energias renováveis.

## Fontes de Energias Renováveis (FER)

Fonte / energia	Principais motivos de receio – perspectivas ambiental e social
Petróleo	Aquecimento global, poluição do ar, chuvas ácidas e derrames de petróleo.
Gás natural	Aquecimento global e fugas de gás.
Carvão	Aquecimento global e chuvas ácidas.
Energia nuclear	Risco de acidentes, destino dos resíduos.
Eólica	Ruído, impacto visual, interferência no sinal de televisão, colisão de pássaros.
Hidroelétrica	Deslocação de populações, efeitos nos rios e águas subterrâneas
Solar	<b>Ocupação de grandes áreas de terreno, impacto visual e utilização de materiais tóxicos no fabrico de células FV</b>
Biomassa	Efeitos na paisagem e na biodiversidade, poluição das águas subterrâneas (devido à utilização de fertilizantes químicos).
Marés	Destruído do habitat da vida selvagem.
Geotérmica	Libertação de gases poluentes (SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S,...), poluição de águas subterrâneas.

7

## Produção de electricidade a partir de FER

Evolução da produção em centrais produtoras de electricidade a partir de FER (GWh)

Ano	Hídricas (REP+SENV)	Hídricas (PRE)	Eólica	Biomassa + Biogás	RSU	Fotovoltaica	Ondas	TOTAL	Cogeração e biomassa	TOTAL
2002	13591	797	383	35	450	1	2	15259	1246	16505
2003	13958	832	518	68	450	1	10	15837	1325	17162
2004	14370	866	675	110	450	9	25	16505	1405	17910
2005	14210	910	945	147	450	21	50	16733	1484	18217
2006	14193	987	1575	252	450	52	55	17564	1538	19102
2007	14147	1126	2025	399	450	100	60	18307	1591	19898
2008	14465	1316	3488	525	450	125	60	20429	1644	22073
2009	14761	1542	4726	651	450	139	60	22329	1697	24026
2010	14725	1698	6350	777	450	140	60	24200	1750	25950
2011	14963	1741	6629	851	450	140	60	24555	1762	26596
2012	14996	1758	6680	872	450	140	60	24626	1777	26733

Fonte: Metas indicativas relativas à produção a partir de FER em Portugal, [www.dge.pt](http://www.dge.pt)

8

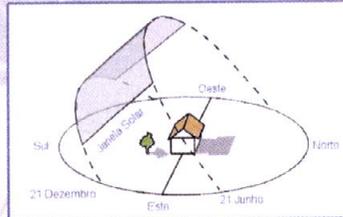
O *slide 7* pretende contrariar uma ideia errónea de que as tecnologias associadas às energias renováveis não apresentam desvantagens numa perspectiva ambiental e mostra no *slide 8*, a evolução da produção de electricidade através de diferentes tecnologias e suas metas para 2012.

## A Energia Solar

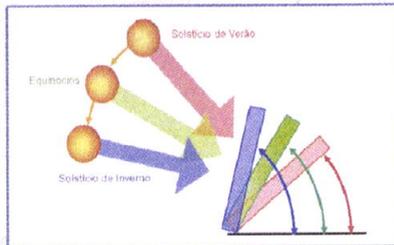
A energia solar que chega à superfície da Terra depende de:

Efeitos atmosféricos

Efeitos geométricos, resultantes dos movimentos de rotação e translação da Terra



[www.fsec.ucf.edu/PVT/Resourses/publications/pdf/FSEC-CB-1144-1999-1.pdf](http://www.fsec.ucf.edu/PVT/Resourses/publications/pdf/FSEC-CB-1144-1999-1.pdf)



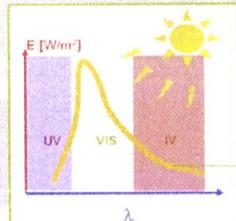
<http://www.ciencia Viva.pt/rede/himalaya/home/guia2.pdf>

### Agenda

- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- **A Energia Solar**
- A Física das células fotovoltaicas
- Apresentação do projecto

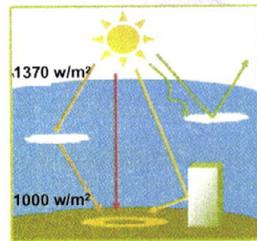
9

## A Energia Solar

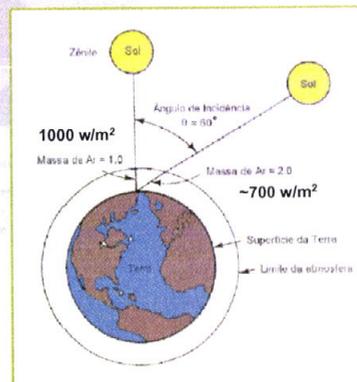


[www.ciencia Viva.pt/rede/himalaya/home/guia2.pdf](http://www.ciencia Viva.pt/rede/himalaya/home/guia2.pdf)

• A irradiância solar recebida pela parte superior da atmosfera é cerca de  $1370 \text{ w/m}^2$  – constante solar, mas apenas uma fracção desta chega à superfície terrestre.



[www.ciencia Viva.pt/rede/himalaya/home/guia2.pdf](http://www.ciencia Viva.pt/rede/himalaya/home/guia2.pdf)

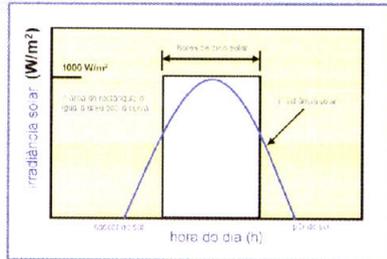


10

Os *slides 9 e 10* pretendem introduzir e rever algumas noções que são importantes para a compreensão acerca do funcionamento de um dispositivo fotovoltaico e sobre a melhor forma de o instalar.

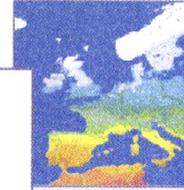
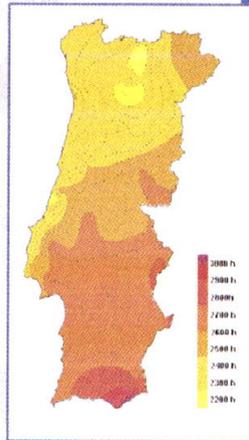
# A Energia Solar

A **insolação**, num dado local, corresponde ao número de horas de sol com uma irradiância de pico de 1000 w/m<sup>2</sup>



[www.few.usf.edu/PVT/Resursos/publicacoes/pdfs/FSEC-CR-1144-1060-1.pdf](http://www.few.usf.edu/PVT/Resursos/publicacoes/pdfs/FSEC-CR-1144-1060-1.pdf)

[www.lemontechnik.de/files/bs/index.asp?zona=continent&grupo=tema&c\\_inicial=0](http://www.lemontechnik.de/files/bs/index.asp?zona=continent&grupo=tema&c_inicial=0)



## Agenda

- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- **A Energia Solar**
- A Física das células fotovoltaicas
- Apresentação do projecto

11

# A Energia Solar

Quais os equipamentos para o aproveitamento da energia solar?

⇒ Energia Térmica

Colectores solares

Colectores concentradores ou de alta temperatura (com placas de superfície côncava ou parabólica; podem obter temperaturas de ~4000°C)



Sirling Energy Systems, Inc. (SES) Boeing, 25 kW  
[www.ses.sbc.com](http://www.ses.sbc.com)



[www.volker-quaschning.de](http://www.volker-quaschning.de)

⇒ Energia Eléctrica

Colectores Fotovoltaicos (Conversão directa da energia solar em energia eléctrica)



[www.reduccion.net](http://www.reduccion.net)

## Agenda

- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- **A Energia Solar**
- A Física das células fotovoltaicas
- Apresentação do projecto

12

O *slide 11* introduz o conceito de insolação e de seguida, no *slide 12* apresentam-se resumidamente várias tecnologias que utilizam como fonte de energia, o Sol.

## A Energia Solar Fotovoltaica: Aplicações



**Agricultura e Comunidade**

- Bombagem de água e irrigação
- Dessalinização e purificação de água
- Sinais rodoviários e parquímetros
- Electrificação de casas rurais e carregamento de baterias
- Relógios e calculadoras

**Missões: espaço e locais remotos**



Indústria espacial

**Saúde e Comunicações**

- Telefones, equipamento médico e de refrigeração de vacinas

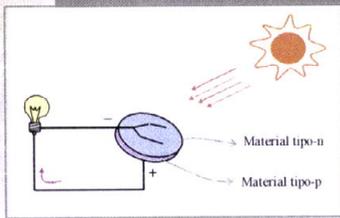
[www.axane.fr](http://www.axane.fr)

**Agenda**

- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- **A Energia Solar**
- A Física das células fotovoltaicas
- Apresentação do projecto

13

## Efeito Fotovoltaico



Uma célula fotovoltaica converte directamente a radiação solar em energia eléctrica. Existem diversos tipos de células, sendo o material semiconductor mais utilizado, o silício (Si).

Material tipo-n

Material tipo-p

**Silício puro**

O Si é dopado originando...

**Material tipo-n**

eléctron livre

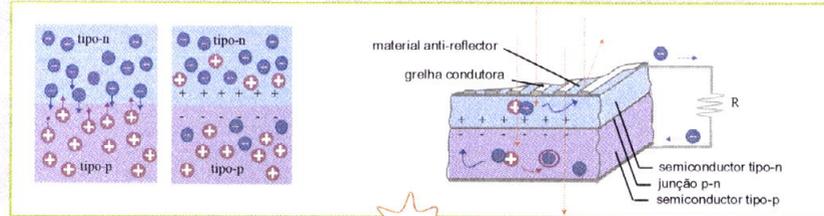
**Material tipo-p**

lacuna

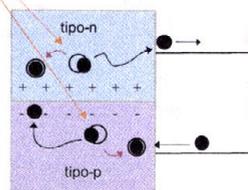
14

O *slide 13* apresenta diversas aplicações da energia solar fotovoltaica; o *slide 14* mostra uma célula e os materiais que a constituem, no caso mais comum, de uma célula de silício.

## Efeito Fotovoltaico



- 1.º Criação de electrões e lacunas nos materiais tipo-n e tipo-p.
- 2.º Os electrões criados no tipo-n deslocam-se através do circuito exterior, enquanto os criados no tipo-p atravessam a junção p-n para a zona tipo-n.
- 3.º Os electrões e as lacunas em cada um dos materiais recombinam-se.



### Agenda

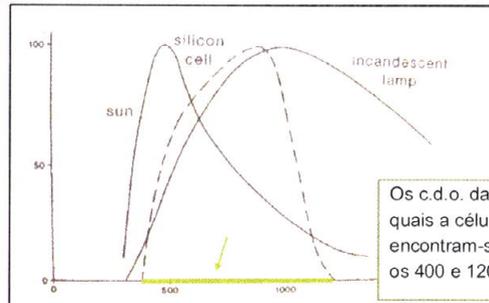
- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- A Energia Solar
- **A Física das células fotovoltaicas**
- Apresentação do projecto

15

## Efeito Fotovoltaico

### Todas as radiações incidentes promovem o efeito fotovoltaico?

Representação das curvas espectrais do sol, de uma lâmpada incandescente e da curva de sensibilidade de uma célula fotovoltaica de silício.



Os c.d.o. da radiação incidente, aos quais a célula é sensível, encontram-se essencialmente entre os 400 e 1200nm (visível e IV)

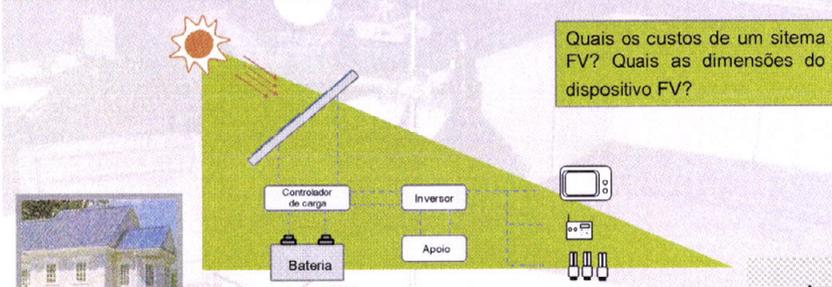
### Agenda

- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- A Energia Solar
- **A Física das células fotovoltaicas**
- Apresentação do projecto

16

O *slide 15* contém diversas representações que pretendem explicar em que consiste o efeito fotovoltaico; mostra-se no *slide 16* o espectro de absorção típico de uma célula de silício e os espectros de emissão do Sol e de uma lâmpada de incandescência.

## A Energia Solar



Quais os custos de um sistema FV? Quais as dimensões do dispositivo FV?

**Agenda**

- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- A Energia Solar
- **A Física das células fotovoltaicas**
- Apresentação do projecto

**Cálculo da área do painel**

1. Determinar a energia eléctrica que se pretende produzir por dia (kW.h/dia)
2. Calcular a área do colector (considerando que tem 100% de eficiência)  
 $\text{área} = \text{média da energia produzida (kW.h)} / \text{média solar diária (kW.h/m}^2\text{)}$
3. Fazer o ajuste da área (considerando que a eficiência é inferior a 100%)

17

## A Energia Solar Fotovoltaica: Aplicações

**Tecnologia: energia solar pode sair à rua**



[http://www.spedeco.info/nuna\\_2.htm](http://www.spedeco.info/nuna_2.htm)

A Agência Espacial Europeia (ESA) desenvolveu o seu próprio protótipo de carro solar: o *Nuna*, da responsabilidade da equipa Alpha Centauri Team, da Universidade de Delft, na Holanda, dirigida pelo antigo astronauta Wubbo Ockels. A energia recolhida pelos 36 painéis solares instalados no automóvel é armazenada numa bateria. Este armazenamento de energia permite ao veículo circular na ausência de luz.

**SolarEco - Carro solar desenvolvido no Instituto Politécnico da Guarda**



[www.escepolive.com](http://www.escepolive.com)



18

O *slide 17* remete para uma forma de calcular a área necessária de um dispositivo fotovoltaico e contém um *link* que permite aceder à simulação desenvolvida que permite estimar área do painel e custos de um sistema FV; no *slide 18* remete-se para outra aplicação da energia solar fotovoltaica e mostram-se alguns protótipos desenvolvidos.

## Trabalho de projecto

"Em pista...ligados ao sol!"

Neste projecto vocês irão investigar as melhores condições para ganhar uma corrida de carros solares fotovoltaicos, sendo a fonte de energia utilizada unicamente o Sol.

A questão-problema que se coloca é...

Como melhorar o desempenho do carro solar fotovoltaico e quais as condições da pista mais favoráveis para ganhar a corrida?

Os participantes deverão:

- Compreender o funcionamento de uma célula fotovoltaica
- Estudar a influência dos vários factores de que depende a *eficiência* do carrinho solar
- Apresentar as propostas relativas ao carro fotovoltaico e às condições da pista, fundamentadas em trabalho experimental



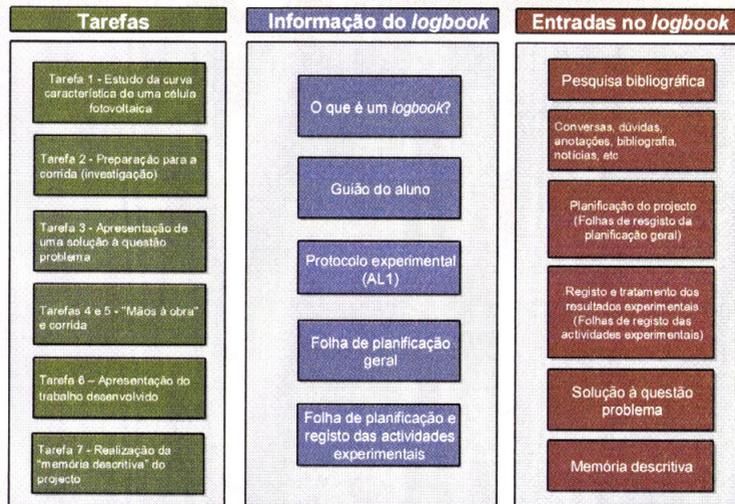
### Agenda

- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- A Energia Solar
- A Física das células fotovoltaicas

• Apresentação do projecto

19

## Trabalho de projecto



20

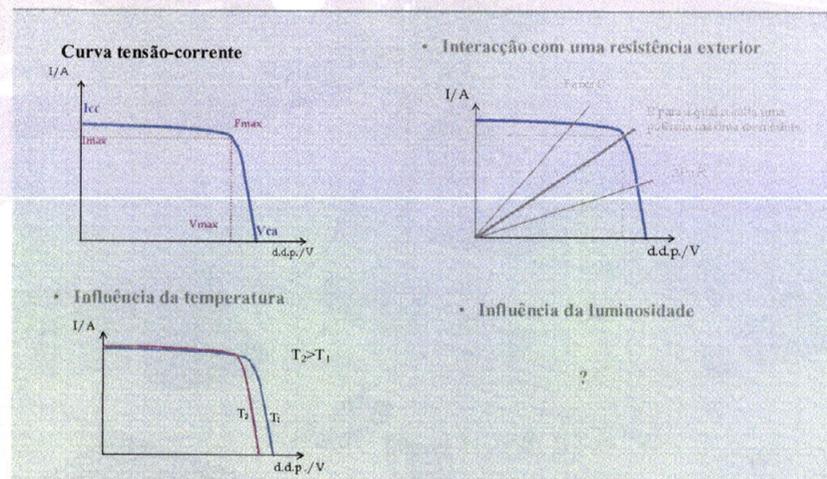
O *slide 19* apresenta a questão-problema e objectivos do projecto "Em pista... ligado ao Sol"; no *slide 20* sistematizam-se as várias tarefas que os alunos deverão realizar, a informação que se encontra disponível no *logbook* e o que se pretende que os alunos aí registem.

## E agora... Mão à obra!



21

## Curvas características de uma célula FV



22

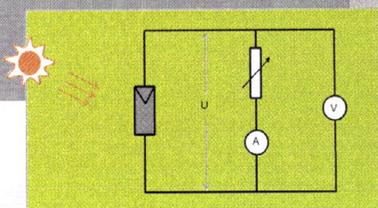
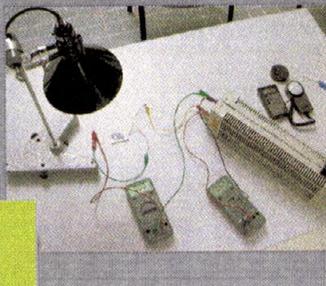
No slide 21 apresentam-se os materiais experimentais a utilizar nas actividades laboratoriais e os recursos desenvolvidos para o projecto; no slide 22 são abordadas as curvas que caracterizam o funcionamento das células fotovoltaicas como ponte para a primeira aula laboratorial (AL1).

## Trabalho de projecto

### Actividade Experimental 1 – Estudo da curva característica de uma célula fotovoltaica

#### Objectivos:

- Conhecer a curva característica da célula, i.e., a variação da intensidade da corrente com a d.d.p.
- Estudar variação da potência útil da célula com a resistência de carga



Esquema da montagem experimental

#### Agenda

- Situação energética mundial
- A situação energética de Portugal
- As energias renováveis
- A Energia Solar
- A Física das células fotovoltaicas
- Apresentação do projecto

23

Por fim, o slide 23 apresenta a fotografia e o esquema da montagem experimental relativa à primeira actividade experimental, que se realizará na aula que precede esta.

*ANEXO X*

*GUIÃO DO PROFESSOR*





## Projecto “Em pista...ligado ao Sol”

### ***GUIÃO DO PROFESSOR***

#### ***TEMA***

Da Energia Solar à Energia Eléctrica: Características das células fotovoltaicas.

#### ***INTEGRAÇÃO NO PROGRAMA***

O programa de Físico-Química, do 10.º ano, contempla o estudo da produção de energia eléctrica através de células fotovoltaicas, na Unidade “Do Sol ao aquecimento”, na componente de Física.

#### ***CONTEXTUALIZAÇÃO***

A energia solar pode ser convertida em energia térmica em painéis solares ou directamente em energia eléctrica, em painéis fotovoltaicos, através de um efeito designado por fotovoltaico. Esta conversão pode ser obtida por meio de uma bolacha de materiais semi-condutores, em geral de silício purificado e dopado, que constituem assim os pequenos dispositivos a que chamamos células fotovoltaicas. Estas podem ser associadas, em série e paralelo, constituindo módulos, que associados formam os painéis. Este carácter modular permite adaptar facilmente o dispositivo fotovoltaico às necessidades energéticas de cada aplicação, favorece o transporte e montagem, bem como, o faseamento dos projectos de maior dimensão.

Apesar de o silício ser o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, o rigoroso processo de purificação a que é submetido é responsável pelo preço pouco competitivo que esta tecnologia apresenta actualmente.

A energia fotovoltaica foi utilizada inicialmente para garantir comunicações em locais remotos e usufruiu da sua aplicação na exploração aeroespacial, que funcionou como grande impulsionadora desta tecnologia. A eficiência das células ter vindo a aumentar significativamente ao longo dos 50 anos da sua existência, tornando-se mais viáveis economicamente e permitindo reduzir as áreas necessárias de painéis.



Actualmente, verifica-se a sua aplicação sobretudo em locais remotos (bombeamento de água, arcas frigoríficas para vacinas, fornecimento de energia para equipamento médico e comunicações) ou distanciados da rede eléctrica (casas rurais) e ainda, em pequenas utilizações, como telefones SOS, parquímetros, sinalização ou máquinas de calcular.

Os sistemas fotovoltaicos permitem a produção de energia eléctrica com elevada fiabilidade, sem ruído e sem emitir gases de efeito de estufa, resumindo-se o impacto ambiental à fase de fabrico, na qual são utilizadas substâncias tóxicas. Devido à periodicidade e irregularidade solares são normalmente necessários sistemas de acumulação de energia, sendo os únicos componentes do sistema que requerem alguma manutenção, dado que os painéis durante a sua vida (cerca de 25 anos) dispensam qualquer manutenção.

### ***ALGUNS SITES SOBRE DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS***

[www.amerlis.pt](http://www.amerlis.pt)

[www.schoolsgogreen.org](http://www.schoolsgogreen.org)

[www.nmsea.org](http://www.nmsea.org)

[www.cere.energy.gov](http://www.cere.energy.gov)

<http://www.fsec.ucf.edu/ed/activit/jss.htm>

<http://www.engineering.sdstate.edu/~roppm/PVFAQ.html#HowManyCells>

### ***PROBLEMA***

Como melhorar o desempenho do carro solar fotovoltaico e quais as condições da pista mais favoráveis para ganhar a corrida?

### ***OBJECTIVO GERAL***

Estudar a influência de vários factores no funcionamento de uma célula fotovoltaica de forma a maximizar a eficiência do sistema carro solar-pista.



## OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar o funcionamento de uma célula fotovoltaica e suas curvas características;
  2. Desenvolver o conceito de eficiência do carro, tendo em consideração que a limitação de potência eléctrica fornecida pelas células FV, depende de diversos factores.
  3. Conceber as condições de colocação da célula no carro e as opções relativamente à pista:
    - 3.1 Delinear a investigação
      - 3.1.1 Estudar os factores de que depende a eficiência de uma célula fotovoltaica, tendo em consideração a questão-problema:
        - Identificar os factores (resistência de carga, intensidade da radiação incidente, c.d.o. da radiação incidente, ângulo de incidência);
        - Conceber as actividades experimentais que permitam estudar a relação entre cada factor a considerar e a eficiência da célula;
        - Realizar as actividades experimentais, obedecendo a um rigoroso controlo de variáveis;
        - Fazer registos, interpretar resultados e tirar conclusões.
      - 3.1.2 Identificar os factores de que depende a eficiência do carro.
    - 3.2 Extrair respostas para a questão-problema ou redelinear a investigação.
    - 3.3 Utilizar os resultados experimentais para decidir acerca das opções sobre a colocação da célula no carro e relativamente às condições da pista.
    - 3.4 Apresentar outras propostas que permitam aumentar a eficiência do produto final.
  - 4.1 Preparar e realizar a corrida.
  - 4.2 Discutir os resultados obtidos na corrida face às decisões tomadas e/ou face aos resultados esperados;
5. Elaborar o *logbook* do projecto;
6. Apresentar o trabalho desenvolvido à comunidade, focando o processo e o produto final, adequando o formato à audiência e aos objectivos.
7. Elaborar, individualmente, uma memória descritiva do processo e produto realizado fundamentando as opções e comentando os resultados obtidos na corrida, avaliando o processo e produto, tendo em conta os objectivos.



### **BREVE DESCRIÇÃO DO PROJECTO**

O projecto “Em pista... ligado ao Sol” consiste no desenvolvimento de um pequeno carro, unicamente movido a energia solar fotovoltaica e da respectiva pista onde irá decorrer a corrida que servirá para testar qual o sistema carro solar-pista mais eficiente.

Desta forma, os alunos irão estudar a influência de alguns factores na eficiência de uma célula fotovoltaica e a forma de optimizarem a sua colocação no carrinho, preparando-o para a corrida, tendo ainda como tarefa adequar algumas das características da pista que condicionam o bom funcionamento das células fotovoltaicas, como a cor dos túneis aí existentes.

A corrida realizar-se-á no exterior, num local e data a acordar e a ordem de chegada dos carros participantes será aferida através da mediação dos respectivos tempos de corrida.

### **FASES E ETAPAS DO PROJECTO**

Este projecto divide-se em três fases:

- **Apresentação**, na qual se fará a contextualização científica e social na qual se insere o tema do projecto e se apresenta o problema proposto. Esta fase revela-se de grande importância, uma vez que é fundamental que os alunos se apropriem do problema que lhes é apresentado, de forma a garantir o sucesso do trabalho de projecto.

Estima-se para esta fase cerca de duas aulas de 45 minutos, que poderão decorrer paralelamente à unidade temática.

- **Investigação**, correspondendo ao processo de resolução do problema proposto. Estima-se para esta fase um mínimo três aulas de 90 minutos, duas das quais destinadas a trabalho experimental.

- **Concretização**, em que os alunos irão testar e apresentar o produto final. Estima-se para esta fase uma aula de 90 minutos.

**Duração total do projecto:** aproximadamente quatro aulas de 90 minutos + momento para preparação e corrida + momento para apresentação do projecto. Os momentos de preparação da corrida e de apresentação do projecto poderão decorrer exteriormente às aulas.



A figura 1 descreve as várias etapas das fases referidas e que a seguir se descrevem:

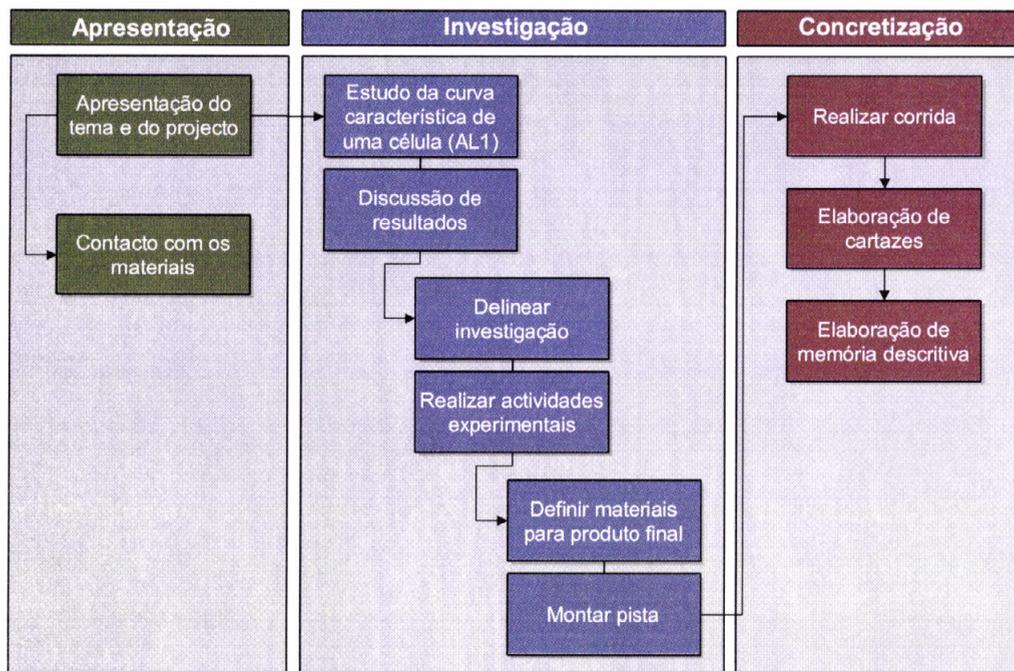


Figura 1 – Fases e etapas do projecto

## RECURSOS

Os recursos necessários e disponíveis para cada etapa estão definidos no quadro da figura 2.

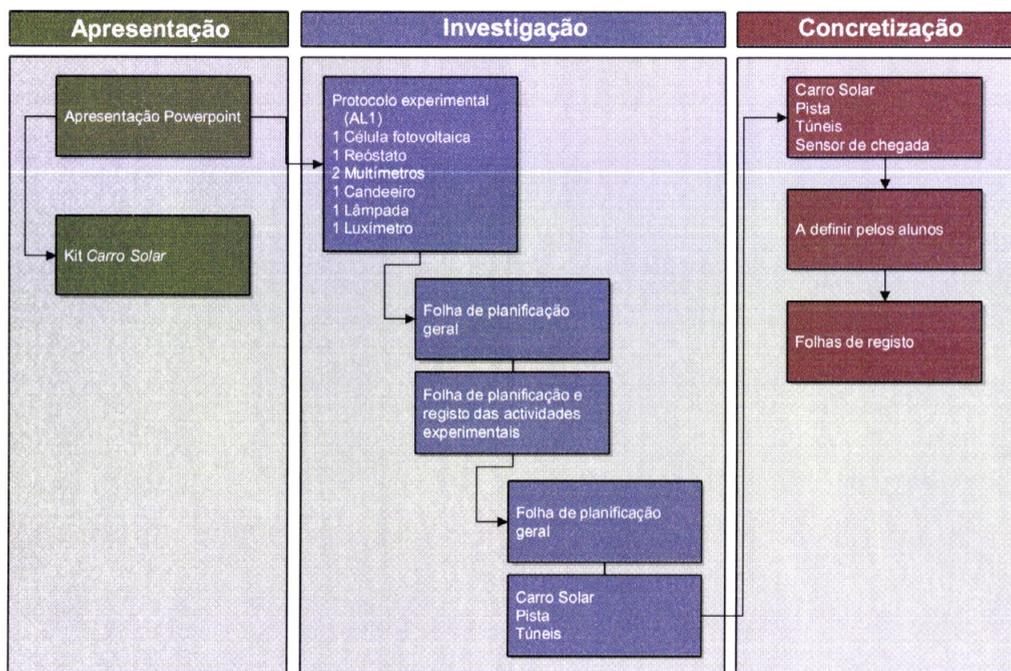


Figura 2 – Recursos pedagógicos a utilizar



Dos materiais necessários à realização do projecto, referidos no quadro, alguns são materiais correntes de laboratório, outros foram especialmente desenvolvidos ou adquiridos para a realização do projecto. Segue-se uma breve descrição dos materiais necessários:

### Para cada grupo:

#### 1. kit solar:

O *kit* consiste num conjunto de peças (figura 3) que servirão para construir o carro solar (figura 4), podendo ser substituídas algumas delas, se os alunos assim considerarem.

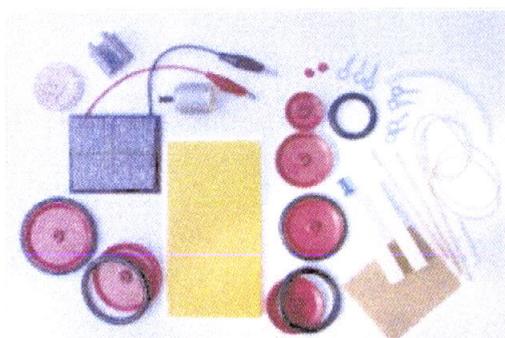


Figura 3 – Peças do kit

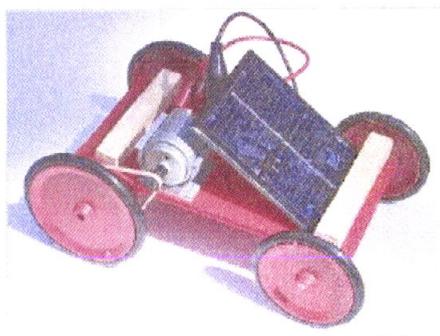


Figura 4 – Carro solar

#### 2. Material para a pista:

**Estrada:** 3 tapetes de borracha de (18x200) cm e uma calha em forma de "U" que servirá de carril, onde deslizarão as rodas.

**Túneis:** São disponibilizados túneis coloridos e túneis pretos.

Os túneis coloridos são de acrílico translúcido de 3mm de espessura, em forma de "U" e surgem nas seguintes cores: vermelho, verde e azul. Têm uma largura de 18 cm e comprimento 30 cm.

Os túneis pretos são opacos, sendo iguais aos coloridos excepto no comprimento que é de 20 cm.



Figura 5 – Pista



### 3. Material laboratorial:

#### **Para a actividade AL1, por grupo:**

1 computador (para tratamento de dados, se existir), 2 painéis fotovoltaicos 0,5 V, 400 mA, 1 reóstato (0-500)  $\Omega$ , 2 multímetros, 1 candeeiro com lâmpada (100 W), 1 luxímetro ou 1 fita métrica, fios de ligação.

#### **Para as restantes actividades:**

- O material anteriormente referido e filtros coloridos. Existem filtros do mesmo material e espessura que os tunéis, de tamanho adequado a cobrir toda a célula (6X8) cm para serem utilizados nas actividades experimentais de carácter laboratorial.

### 4. O logbook:

Trata-se de um caderno onde os alunos registam tudo o que está relacionado com o trabalho de projecto, como se um diário de bordo se tratasse. Neste caso, o logbook incluirá um conjunto de folhas informativas, protocolos e folhas registos, nomeadamente:

- ✓ O "Guião do aluno"
- ✓ A "Folha de planificação geral do projecto"
- ✓ O "Protocolo da AL 1"
- ✓ As "Folhas de planificação das actividades e registos"

O restante espaço servirá para todo o tipo de registos, como:

- notas das aulas sobre o projecto;
- pesquisada prévia;
- a bibliografia de todos os livros, revistas, etc. utilizados;
- questões, dúvidas e hipóteses;
- procedimentos, esboços de tabelas e gráficos;
- informações obtidas por telefone ou e-mail;
- registo de conversas com colegas ou de ocorrências estranhas;

Todas as entradas no *logbook* deverão ser iniciadas como a data e hora.

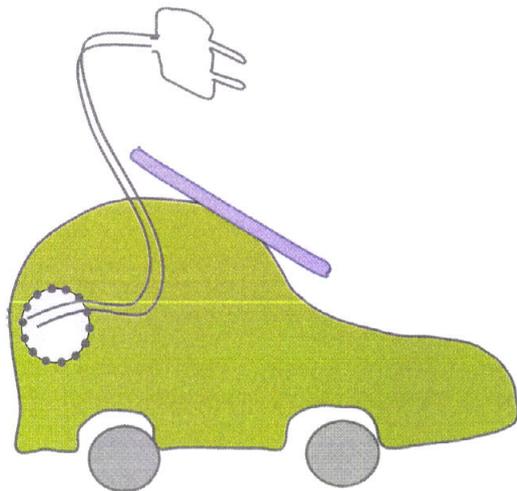
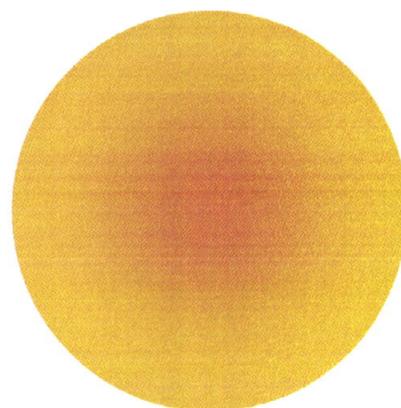


*ANEXO XI*

*LOGBOOK*



# Projecto "Em pista...ligado ao Sol"



*Logbook*

*Nome:*

*Turma: ...*





**Este pequeno caderno**

Pretende ser o local de registo de todas as tuas anotações. Para tal, deverá estar sempre por perto.

E por isso é pequeno.

**Este pequeno caderno**

A que chamámos *logbook*, será o teu "diário de bordo" do projecto. E, como num diário, deverás anotar a hora e dia de cada entrada.

Num projecto, à semelhança de uma viagem, o importante é, não só, o destino ou produto final, mas o percurso descrito. E este só sobreviverá se fizeres registos...

registos das aulas,  
registo de conversas,  
dos resultados experimentais,  
apontamentos,  
curiosidades,  
ideias,  
dúvidas...

**Tudo neste pequeno caderno, o teu *logbook*.**

Elementos do grupo:

---

---

---



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

### **ALGUNS SITES SOBRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA:**

---

<http://www.cienciaviva.pt/rede/energia/himalaya2005/home/guia2.pdf>

<http://www.nuna2.com/>

<http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergiasolar.htm>

<http://projectsol.aps.com/>

<http://www.mysolar.com/mysolar/pv/solarelectricity.asp>

<http://www.solarserver.de/wissen/photovoltaik-e.html>

[http://www.eere.energy.gov/solar/solar\\_timeline.html](http://www.eere.energy.gov/solar/solar_timeline.html)

<http://www.winstonsolar.org/race/history.shtml>

<http://inventors.about.com/library/inventors/blsolar2.htm>

### **E-MAIL PARA ESCLARECIMENTO DE DÚVIDAS RELACIONADAS COM O PROJECTO:**

---

[ligadoaosol@yahoo.com](mailto:ligadoaosol@yahoo.com)



## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”

# ÍNDICE



## Projecto *“Em pista... ligado ao Sol”*



## ÍNDICE

- "ESTE PEQUENO CADERNO..." .....	I
- ALGUNS SITES SOBRE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA .....	ii
- E-MAIL PARA ESCLARECIMENTO DE DÚVIDAS RELACIONADAS COM O PROJECTO .....	ii
- GUIÃO DO ALUNO .....	1
- PROTOCOLO DA ACTIVIDADE EXPERIMENTAL 1: ESTUDO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA .....	
- FOLHA DE PLANIFICAÇÃO DO PROJECTO E REGISTOS .....	
- FOLHAS DE PLANIFICAÇÃO DAS ACTIVIDADES EXPERIMENTAIS E REGISTOS - ACTIVIDADE EXPERIMENTAL 2 .....	
- FOLHAS DE PLANIFICAÇÃO DA ACTIVIDADES EXPERIMENTAIS E REGISTOS - ACTIVIDADE EXPERIMENTAL 3 .....	
- "MEMÓRIA DESCRITIVA" DO PROJECTO .....	41



# Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”



## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”



## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”

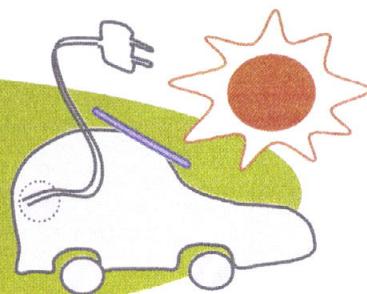
## ***GUIÃO DO ALUNO***





*Da Energia Solar à Energia Eléctrica*

*Projecto "Em pista... ligado ao Sol"!*



## CONTEXTUALIZAÇÃO

### *Protocolo de Quioto*

Na Resolução do Conselho de Ministros N.º 63/2003 de 28 de Abril pode ler-se:

"Portugal apresenta indicadores de utilização racional de energia que não são compatíveis com um nível apropriado de qualidade ambiental e com a competitividade económica, sendo necessário tomar medidas de fundo, inclusive para respeitar compromissos internacionais assumidos, entre outros os que resultam do Protocolo de Quioto."

Desta forma, para fomentar o desenvolvimento sustentável, há necessidade, na perspectiva ambiental, de desenvolver mecanismos para concretizar o Protocolo de Quioto e promover a utilização racional de energia. Entenda-se desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades.

O Protocolo de Quioto exigirá um esforço para o cumprimento do objectivo estabelecido para Portugal, de um aumento de apenas 27% de emissões de gases de efeito de estufa (GEE), até 2012, relativamente aos valores de 1990, objectivo em relação ao qual, Portugal está actualmente à quem. Existe ainda, uma directiva europeia que aponta para que, em 2010, 39% da energia eléctrica consumida no nosso país seja de origem renovável.

Em suma, é necessário promover um desenvolvimento sustentável, travando a procura crescente de combustíveis, poluentes e limitados, como os combustíveis fósseis. É urgente promover as energias limpas e renováveis, como a inesgotável (à nossa escala temporal) energia Solar.



## INTRODUÇÃO

### A Energia Solar Fotovoltaica

Sabias que...

Se num ano um condutor andar cerca de 10.000 km, será responsável pela emissão de 2 ton de CO<sub>2</sub>!  
(considerando um consumo de aproximadamente 8 L/100 km)



Figura 1

<http://www.canalkids.com.br/>

Se, por um lado, os nossos veículos emitem para a atmosfera gases de efeito de estufa, por outro, são uma fonte de poluição sonora. Então, que soluções existirão?

Um carro solar, como o da figura 1, é um veículo eléctrico. Ele praticamente não produz ruído e não emite gases para a atmosfera. Estes veículos são geralmente muito leves e possuem formas pensadas para reduzir a resistência ao movimento.

No dia 11 de Junho de 2004, data em que começou no nosso país o "Euro 2004", chegou à cidade do



<http://www.nuna2.com>



Fig. 2 - O carro solar Nuna 2 e a sua viagem ela Europa

Porto o carro solar fotovoltaico mais rápido do mundo. Partiu da Grécia, percorrendo 6500 km atravessando 14 países da Europa Ocidental, em 14 dias. Este carro, denominado *Nuna 2* ganhou em 2003 o *World Solar Challenge*, atravessando o deserto australiano com uma velocidade média de 97 km/h.

Mas como funciona esta tecnologia? Que aplicações tem?



## Projecto “Em pista... ligado ao Sol”

A energia solar pode se convertida em energia térmica ou directamente convertida em energia eléctrica, através de um efeito designado por fotovoltaico. Esta conversão pode ser obtida por meio da junção de dois blocos de materiais semi-condutores, em geral de silício purificado e dopado e que constituem os pequenos dispositivos a que chamamos células fotovoltaicas. Estas podem ser associadas, em série e paralelo, constituindo módulos, que associados entre si, formam os painéis.

Este carácter modular permite adaptar facilmente o dispositivo fotovoltaico às necessidades energéticas de cada aplicação. Por outro lado, favorece o transporte e a montagem e permite o faseamento de projectos de grandes dimensões. Apesar de o silício ser o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, o rigoroso processo de purificação a que é submetido é responsável pelo preço pouco competitivo que esta tecnologia apresenta actualmente.

A energia fotovoltaica foi inicialmente utilizada para garantir comunicações em locais remotos e a sua tecnologia tem vindo a ser desenvolvida, tendo sido grandemente impulsionada pela necessidade da sua aplicação na exploração espacial. Ao longo dos tempos, a eficiência das células tem vindo a aumentar, tornando-as economicamente mais viáveis e contribuindo para diminuir as áreas necessárias de painéis para uma dada aplicação. A sua utilização ainda não se generalizou, verifica-se sobretudo em locais remotos ou distanciados da rede eléctrica (casas rurais, bombeamento de água, arcas frigoríficas para vacinas, fornecimento de energia para equipamento médico e comunicações) ou em pequenas utilizações (telefones SOS, parquímetros, sinalização de trânsito, máquinas de calcular, etc).

Os sistemas fotovoltaicos permitem a produção de energia eléctrica com elevada fiabilidade, sem emitir gases de efeito de estufa e ao contrário dos geradores eólicos, sem produzir ruído. O impacto ambiental resume-se à fase de fabrico, na qual são utilizadas algumas substâncias tóxicas, tratando-se a partir daí de uma energia limpa. Devido à periodicidade e irregularidade solares, são normalmente necessários sistemas de acumulação de energia, sendo os únicos componentes do sistema que requerem alguma manutenção. Os painéis durante a sua vida, cerca de 25-30 anos, dispensam qualquer manutenção.

Para o cumprimento dos compromissos energéticos, inicialmente referidos, uma das medidas propostas, é o desenvolvimento de sistemas de transporte energeticamente eficientes e limpos, de forma a evitar a situação indesejável da figura 1, que é contudo, demasiadamente comum para que nos choque...



## Projecto “Em pista... ligado ao Sol”

A proposta que deixamos a de cada grupo, é desenvolver um pequeno carro unicamente movido a energia solar fotovoltaica e construir a pista onde irá decorrer a corrida entre os carros concorrentes e que servirá para testar qual o carro solar mais eficiente. Vocês farão, por alguns dias, o trabalho de físicos envolvidos num trabalho de investigação que visa ter uma aplicação prática. O projecto denomina-se “Em pista...ligado ao Sol” uma vez que o carro mover-se-á apenas porque o Sol “brilha”, não sendo permitidos quaisquer dispositivos para além das células fotovoltaicas. O melhor desempenho do carro será condicionado pelo carro concebido e por opções referentes à pista. Destas condições dependerá o melhor funcionamento das células fotovoltaicas.

Assim, para utilizar eficazmente a energia fotovoltaica será necessário que conheçam o funcionamento das células, nomeadamente, quais os factores e como influenciam a sua eficiência.

### QUESTÃO-PROBLEMA

**Como melhorar o desempenho do carro solar fotovoltaico e quais as condições da pista mais favoráveis para ganhar a corrida?**

### OBJECTIVO

**Com este projecto pretende-se que** estudem a influência de vários factores na eficiência de um carro solar, através de um trabalho de carácter experimental, baseado nas variáveis que vocês poderão controlar, para obter o melhor desempenho do carro.

Não se pretende que adoptem uma estratégia de tentativa-e-erro, colocando o carro em pista e alterando as condições possíveis, mas que numa primeira fase façam um estudo no laboratório sobre o funcionamento das células para que possam vir a tomar as melhores opções sobre a forma de colocar as células fotovoltaicas no carro e acerca das condições da pista mais favoráveis para ganharem a corrida.

As tarefas que irás realizar com o teu grupo ao longo do projecto estão genericamente definidas no esquema da figura 1, onde se explicitam ainda quais as informações contidas no *logbook* e quais os registos que deverás fazer. Poderás sempre juntar ao teu *logbook* fotografias, desenhos ou gráficos que documentem o percurso realizado.

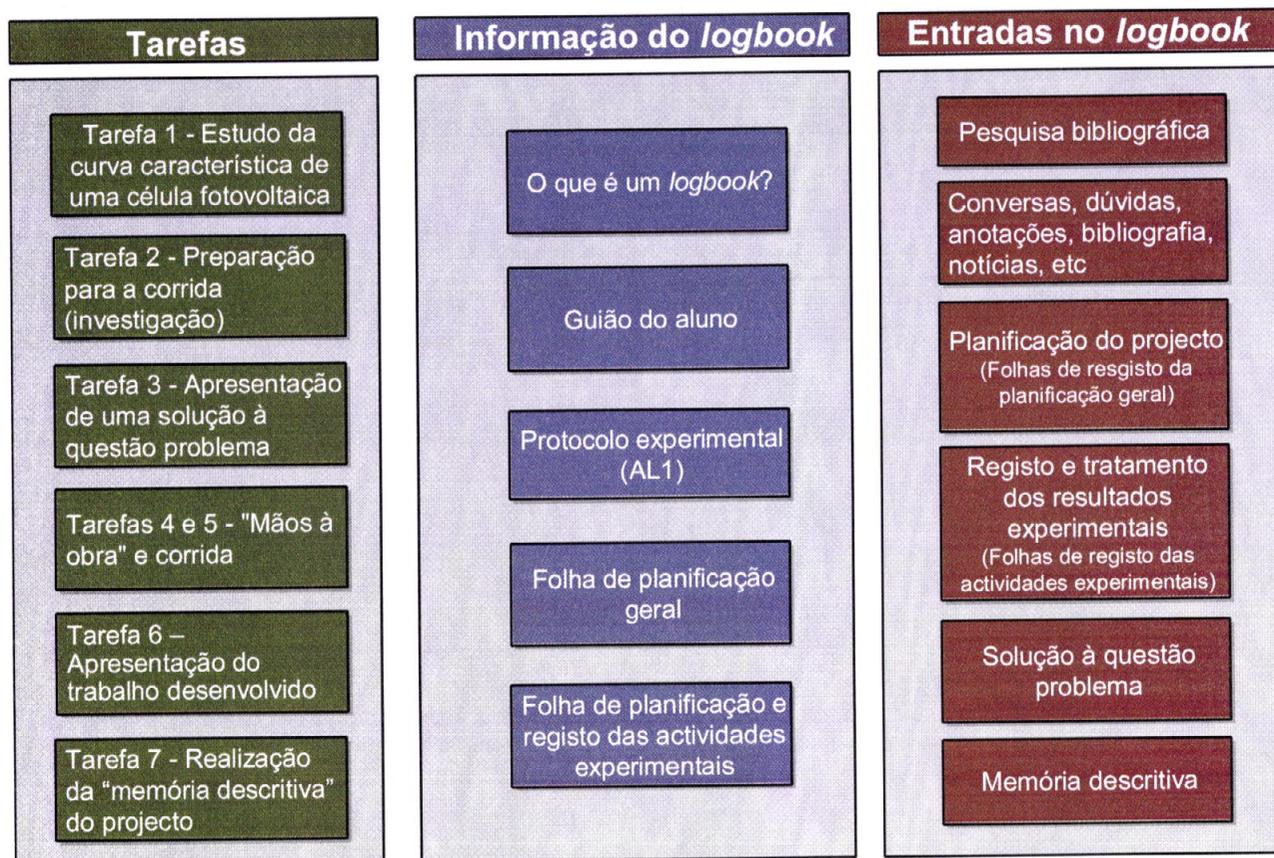


Figura 1 - Tarefas do projecto e informação existente e a registar no *logbook*

Logo após a apresentação do projecto, irás iniciar conjuntamente com os teus colegas de grupo o trabalho de investigação que vos permitirá dar resposta à questão problema, e que vos levará à construção do carro fotovoltaico e da respectiva pista onde se realizará a corrida final. Este percurso deverá ficar fielmente registado no teu *logbook*.

Segue-se uma breve descrição das tarefas referidas na figura 1:

### **TAREFA 1 - ESTUDO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA**

Para compreenderem melhor o funcionamento de uma célula fotovoltaica irão realizar a actividade laboratorial 1 - Estudo da curva característica de uma célula fotovoltaica.

Está disponível, no *logbook*, o protocolo para a referida actividade experimental, na página 13.



## TAREFA 2 - PREPARAÇÃO PARA A CORRIDA

- I. Deverás começar por ler o regulamento da corrida para posteriormente delinear, em grupo, a vossa investigação.
- II. Para vos ajudar a delinear a investigação, existe no *logbook* uma folha designada “Folha de registo da planificação do Projecto”, onde podem encontrar algumas orientações e onde deverão fazer os vossos registos.

Aí, remete-se para que:

- ✓ Façam uma lista de todos os factores que julgam poder influenciar a eficiência da célula fotovoltaica.
  - ✓ Com base no regulamento da corrida, seleccionem os factores que considerem mais importantes estudar, na literatura e no laboratório.
  - ✓ Planifiquem as actividades de carácter experimental que pretendem realizar. Para vos ajudar nesta planificação, encontram no *logbook*, para cada actividade, uma "Folha de planificação das actividades experimentais e registos". Para além da planificação, também os registos e tratamento dos dados devem constar do *logbook*. Se utilizares o Excel para tratar os dados, poderás imprimir e anexar posteriormente ao *logbook*.
- III. Relativamente à pesquisa bibliográfica, espera-se que esta ocorra ao longo do trabalho e à medida das vossas necessidades, para obterem informação ou esclarecerem dúvidas. Deverás registar no *logbook* as notas, comentários ou os resumos das leituras realizadas, sempre acompanhados da respectiva bibliografia.

## TAREFA 3 - APRESENTAÇÃO DE UMA SOLUÇÃO À QUESTÃO PROBLEMA

Nesta tarefa irão apresentar as conclusões que tiraram ao longo da vossa investigação. Reunam as medidas que pretendem implementar e justifiquem as vossas opções.

Apresentem, ainda, a lista dos materiais, para além dos já disponibilizados, que irão precisar para implementar a vossa solução para o sistema carro-pista.

Reúnam esta informação no vosso *logbook*, na “Folha de planificação do projecto e registos” (página 21)



#### **TAREFA 4 - "MÃOS À OBRA"**

Depois de partilharem as vossas decisões com a professora, chegou o momento de por "mãos à obra": vão preparar o carro e a pista para a corrida. Podem fazer alguns ensaios antes da corrida final, para verificarem se tudo está a funcionar como esperado...

#### **TAREFA 5- CORRIDA E COMENTÁRIOS AOS RESULTADOS**

A corrida realizar-se-á entre as várias equipas da turma, na data e local combinados. Faz tudo o que tiver ao teu alcance para registares este momento, se possível, no *logbook* (através de comentários, fotos,...), já a pensar na apresentação final – tarefa 6.

#### **TAREFA 6 - APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DESENVOLVIDO**

Nesta fase irão divulgar o trabalho desenvolvido. Deverão focar a importância do tema, os objectivos, descrevendo o percurso realizado, desde a investigação à construção da solução apresentada para o sistema carro-pista. Esta apresentação poderá ser feita através de um cartaz ou de uma apresentação oral.

#### **TAREFA 7 - REALIZAÇÃO DA "MEMÓRIA DESCRITIVA" DO PROJECTO (INDIVIDUAL)**

Esta será a última tarefa deste projecto, uma vez que, a tua "obra" está terminada. À semelhança do um arquitecto, que, a cada projecto, associa a respectiva "memória descritiva", onde descreve o seu conteúdo e justifica as opções tomadas, tu irás elaborar um pequeno texto sobre o projecto realizado.

Esse texto, será a *TUA MEMÓRIA REGISTADA*, no teu pequeno caderno, o *logbook* (a registar a partir da página 41).



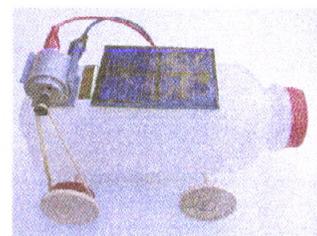
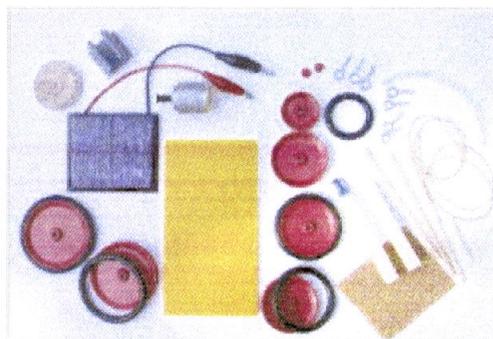
## Regulamento da corrida

### Sobre a corrida:

A corrida realizar-se-á no exterior, num local e data a acordar e será conhecida a ordem de chegada dos carros participantes, através da medição do tempo que decorre entre o instante de partida e o de chegada de cada carro, utilizando um digitímetro por pista.

### Sobre a construção do carro:

- Cada grupo receberá o material necessário para a construção do carro e que consiste numa caixa que contém o *kit* solar, incluindo, entre outras peças, um motor eléctrico e uma célula fotovoltaica. Os materiais fornecidos são iguais para todos os grupos.
- A carroçaria do carro ficará sujeita à vossa imaginação. Podem utilizar outros materiais para além dos fornecidos inicialmente, personificando o carro através dos acabamentos, forma, cor ou dimensões.
- A parte mecânica não deverá ser alterada, cabendo ao grupo gerir apenas como colocar o motor e célula(s) no carro.
- O carro mover-se-á, na pista, apenas "ligado" ao Sol e não serão permitidos mecanismos electrónicos/eléctricos de armazenamento de energia.



### Sobre a pista:

- A pista é constituída por um tapete de borracha, sobre o qual assenta um carril de plástico, sem curvas, onde deslizará o carro. O ponto de partida e de chegada deverão estar à mesma altura (cota).
- Na pista irão dispor obrigatoriamente seis túneis de dimensões conhecidas: dois pretos opacos e quatro coloridos. Os túneis coloridos fornecidos são translúcidos e existem nas seguintes cores: azul, vermelho e verde. O comprimento de cada túnel colorido é de 30 cm e de cada túnel preto de 20 cm.
- A posição da pista não é pré-definida, ficando ao teu critério.

Serás admitido na corrida se o teu grupo apresentar:



## Projecto “Em pista... ligado ao Sol”

- Uma solução à questão problema (tarefa 3) baseada na investigação realizada, devidamente fundamentadas pelos resultados experimentais e literatura;
- O carro concluído, pronto a correr;
- Os materiais necessários para a montagem da pista, na sua versão final.



## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”



Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”

**PROTOCOLO  
DA ACTIVIDADE EXPERIMENTAL 1:  
ESTUDO DA CURVA CARACTERÍSTICA DE UMA CÉLULA FOTOVOLTAICA**



## Actividade Experimental 1: Estudo da curva característica de uma célula fotovoltaica.

**Objectivo:** Conhecer a curva característica de uma célula fotovoltaica.

### Fundamento teórico:

A palavra fotovoltaica deriva da palavra grega "*phos*" que significa luz e de "*volta*", cientista italiano que deu o seu nome à unidade SI de potencial eléctrico. Uma célula fotovoltaica é um dispositivo que converte directamente a radiação solar em energia eléctrica. A corrente eléctrica obtida pelo painel é contínua e pode ser convertida em corrente alternada ou ser armazenada em baterias para uso posterior.

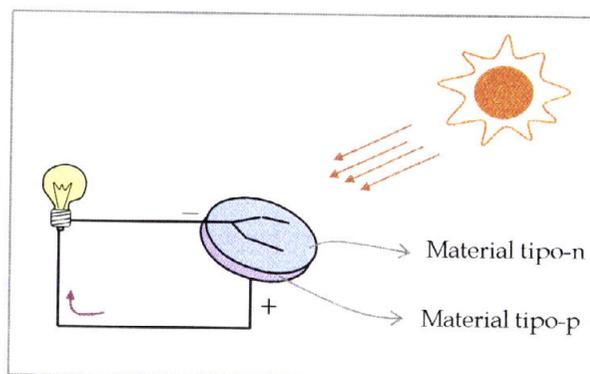


Fig.1 - Célula fotovoltaica: gera corrente contínua a partir da radiação solar.

Hoje existem diversos tipos de células, sendo o material semiconductor mais utilizado, o silício. Este, depois de purificado, é dopado de forma a obter-se materiais com características diferentes, tipo-p e tipo-n.

Quando se juntam os dois materiais (ver figura 2), alguns dos electrões móveis do material tipo-n migram para o material tipo-p, fazendo com que surja um excesso de carga negativa no tipo-p e deficiência de carga negativa no tipo-n. Cria-se assim, uma diferença de potencial e que se mantém, junto à junção dos dois materiais, chamada junção p-n que, conseqüentemente, servirá como moderador do fluxo de electrões, que só poderão passar do material tipo-p para o tipo-n.

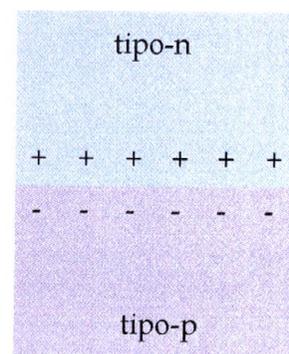


Fig 2-Representação da distribuição de cargas resultante na junção p-n

Não havendo incidência de radiação sobre a célula não há criação de novos electrões móveis e lacunas, pelo que não há fluxo de electrões e, portanto, não há corrente no circuito exterior à célula.

Quando há incidência de radiação alguns fotões são absorvidos e os electrões ligados adquirem energia suficiente para se tornarem móveis, deixando no material buracos ou lacunas. Os electrões móveis do material tipo-p passam



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

pela junção p-n para o material tipo-n, onde se recombinam com as lacunas deixadas pelos electrões móveis do material tipo-n.

Existem, deste modo, electrões em excesso no material tipo-n e deficiência no tipo-p, pelo que, caso exista um circuito externo, os electrões fluirão através dele. No material tipo-p recombinar-se-ão com as lacunas aí existentes. Enquanto houver radiação incidente, este processo repetir-se-á e haverá corrente a fluir no circuito.

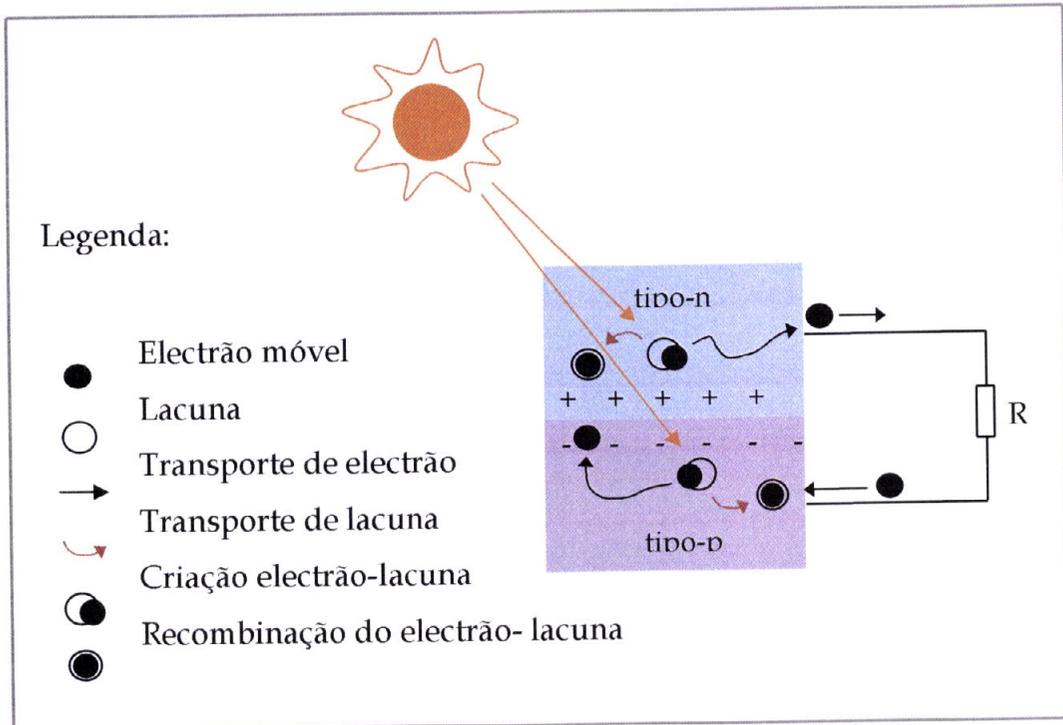
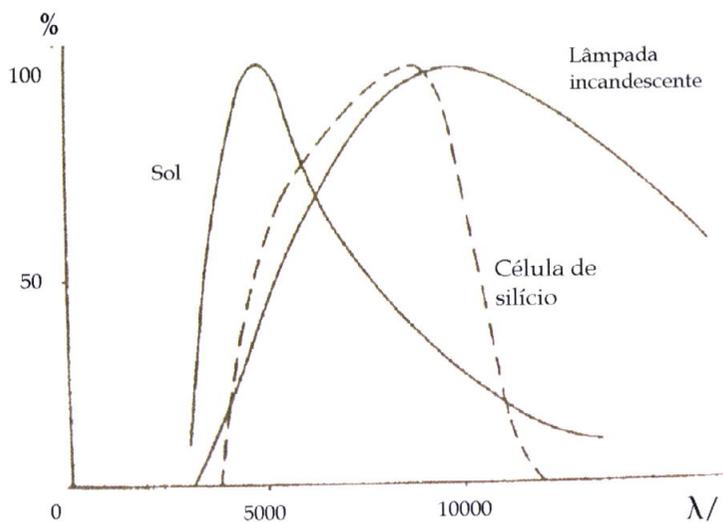


Fig.3 - Representação do funcionamento de uma célula fotovoltaica.

**Todas as radiações que incidem sobre a célula promovem o efeito fotovoltaico?**



A figura 4 mostra o espectro do sol ( $T \sim 5800K$ ), de uma lâmpada incandescente ( $T \sim 2000K$ ) e a curva espectral de sensibilidade de uma célula fotovoltaica de silício.

Fig. 4 - Representação dos espectros do Sol e de uma lâmpada e o espectro de sensibilidade de uma célula.



## Curvas características das células fotovoltaicas

O que caracteriza uma célula fotovoltaica é a d.d.p. nos seus terminais e a corrente eléctrica que fornece, para diferentes valores da resistência de carga. Se forem alteradas as condições exteriores como a intensidade luminosa, a temperatura ou o comprimento de onda da radiação incidente, alteram-se os valores da corrente e da tensão de funcionamento da célula. Estas alterações podem ser verificadas através das suas curvas características (fig.4 e fig.5).

O funcionamento de um módulo fotovoltaico é influenciado pela temperatura, sendo que o seu aumento provoca uma diminuição da d.d.p. Por este motivo, para locais com temperaturas ambientes muito elevadas são adequados módulos que contenham mais células a fim de proporcionarem a tensão necessária para um mesmo efeito. A eficiência de uma célula de silício é de cerca de 12% a 25°C e a uma temperatura de 200°C cai para 5%. Quando a temperatura se torna elevada para o bom funcionamento da célula, pode trazer resultados positivos associar um sistema de arrefecimento.

### Curva característica tensão-corrente

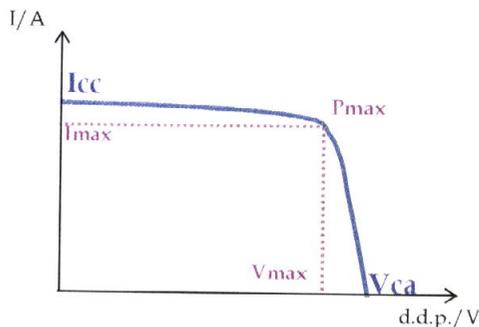


Fig. 5 - Curva tensão-corrente de um dispositivo fotovoltaico.

A curva corrente-tensão caracteriza o sinal de saída de uma célula fotovoltaica. Relativamente a esta curva há a destacar alguns valores, como:

- Corrente de curto-circuito (**Icc**): máxima corrente que o dispositivo pode entregar, a tensão nula;
- Tensão de circuito aberto (**Vca**): máxima tensão que o painel fornece, em circuito aberto.

O máximo valor de potência (**Pmax**) que o painel pode fornecer, corresponde ao ponto da curva em que  $U \times I$  é máximo.

A figura 6 mostra as curvas tensão-corrente características de uma célula fotovoltaica, para diferentes valores da intensidade luminosa. A corrente diminui à medida que diminui a intensidade luminosa ( $L_1 > L_2 > L_3$ ); sendo que a d.d.p. praticamente não varia.

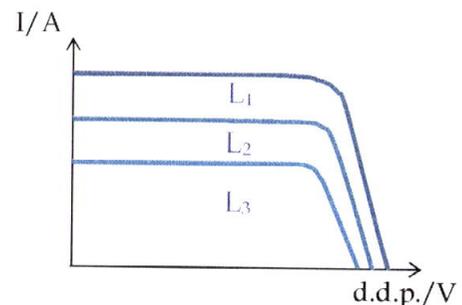


Fig. 6 - Curvas características para diferentes valores da intensidade luminosa.



## Interacção com uma resistência exterior

Quando se liga o módulo a um receptor, o ponto de funcionamento do módulo fotovoltaico será o da intersecção da sua curva característica com a curva característica do receptor. Existe um valor para a resistência que se intercala no circuito para o qual a potência será máxima (ver fig. 7).

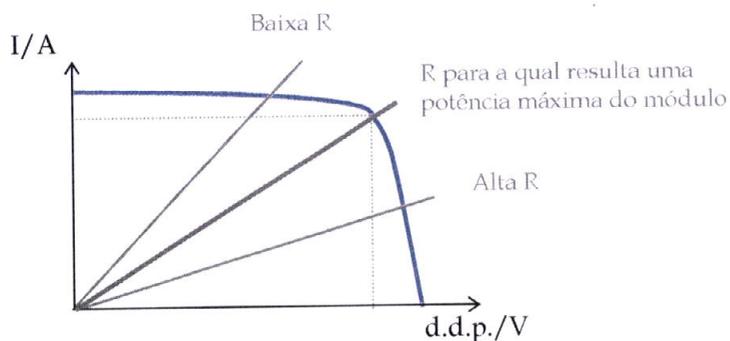


Figura 7 - Pontos de funcionamento da célula fotovoltaica em função do valor da resistência oferecido pelo receptor

A tensão de saída no ponto de potência máxima de uma célula é aproximadamente de 0,5 V e a intensidade é proporcional à sua superfície e à intensidade luminosa incidente. Para se obterem tensões maiores, de forma a carregar uma bateria de 12V ou alimentar receptores de maior potência, ligam-se em série várias células (as suas tensões somam-se) formando um módulo fotovoltaico. Para formar painéis fotovoltaicos, associam-se vários módulos consoante as necessidades.

O bom aproveitamento dos painéis solares depende de factores exteriores como o seu dimensionamento, localização e orientação.

## Montagem experimental:

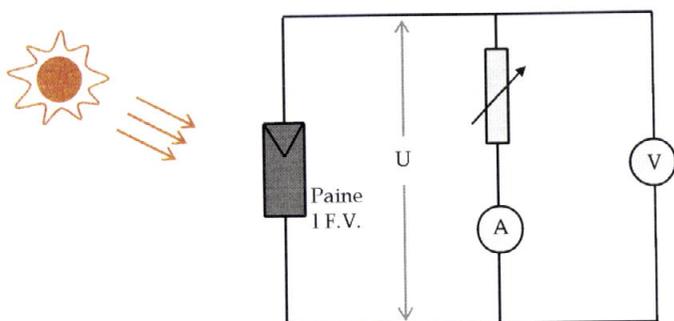


Figura 8 - Circuito eléctrico que nos permitirá conhecer a curva característica da célula, isto é, a tensão e corrente consoante o valor da resistência exterior intercalada

**Material:** 1 painel fotovoltaico, 1 reóstato (0-100 $\Omega$ ), 1 amperímetro, 1 voltímetro, 1 candeeiro com lâmpada (100W), 1 luxímetro, fios de ligação e 1 fita métrica.



**Cuidados a ter no manuseamento do material:**

- Não se deve submeter as células fotovoltaicas a temperaturas muito elevadas.

**Duração:** 90 minutos.

**Procedimento experimental:**

1. Caracteriza as escalas dos aparelhos utilizados e regista as respectivas incertezas de leitura.

2. Faz a montagem indicada no esquema da figura 8, utilizando o candeeiro com a lâmpada de 100W como a fonte luminosa. Estabelece uma distância da lâmpada à célula de aproximadamente 40cm.

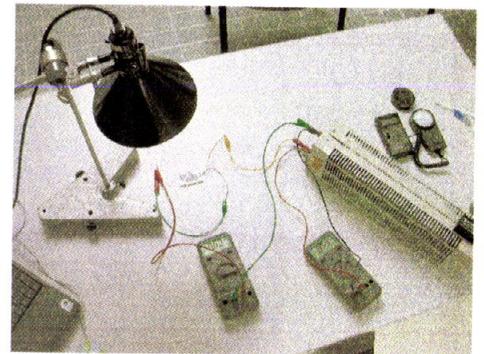


Fig. 9 - Fotografia da montagem

3. Planifica o modo de realização da actividade sabendo que o objectivo é medir a potência fornecida pela célula fotovoltaica para vários valores da resistência.

i) Indica que medições se devem realizar para calcular a potência da célula.



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

- ii) Constrói a tabela (com as grandezas adequadas) que te permitirá representar graficamente:
- a variação da intensidade da corrente com a d.d.p.

- a variação da potência com a resistência.

4. Realiza a experiência e regista os dados adquiridos.





## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”

### ***FOLHA DE PLANIFICAÇÃO DO PROJECTO E REGISTOS***



FOLHA DE PLANIFICAÇÃO DO PROJECTO E REGISTOS

Vamos planificar...

Com base no regulamento da corrida (ver páginas 10 e 11) faz uma síntese das normas a teres em consideração para o desenvolvimento do sistema carro pista:

Para melhorar o desempenho do sistema carro-pista terás em atenção alguns factores que te pareçam importantes para obteres a melhor solução à questão-problema

- Factores que podem influenciar o funcionamento da célula:

- Relativos ao carro:

- Relativos à pista:



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

Dos factores que propuseste anteriormente irás estudar alguns que poderás testar laboratorialmente ou procurar resposta na literatura:

Selecciona os factores que consideras mais importantes estudar no laboratório:

Actividade Experimental 2-

Actividade Experimental 3-

Na literatura procurarás informar-te sobre:

Não iremos estudar os restantes porque...

Irás realizar as tuas pesquisas e actividades experimentais e depois voltarás aqui para registares as conclusões que tiraste.

Para planificares as Actividades Experimentais utiliza as "Folhas de Planificação e registo das Actividades Experimentais" (páginas 25 e 29)

**Vamos registar as nossas conclusões...**

Das actividades experimentais realizadas concluímos que...

Actividade Experimental 2-

Actividade Experimental 3-

Da literatura concluímos que...



A solução à questão problema que propomos é:

O material que necessitamos para implementar a nossa solução:



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

**FOLHAS DE PLANIFICAÇÃO DAS ACTIVIDADES EXPERIMENTAIS E REGISTOS**

**ACTIVIDADE EXPERIMENTAL 2: \_\_\_\_\_**



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

### FOLHA DE PLANIFICAÇÃO DAS ACTIVIDADES EXPERIMENTAIS E REGISTOS

**Nome da actividade experimental:**

Nesta actividade pretendemos estudar...	
Apresentamos o esquema da montagem...	Como iremos realizar a actividade experimental...
Material de que iremos necessitar...	Para assegurar bons resultados teremos de controlar...



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

A(s) grandeza(s) que tens de medir...

A(s) grandeza(s) que tens de calcular...

Esboço da(s) tabela(s) a utilizar para os registos.

As tabelas de registo e os gráficos serão anexadas a esta folha de registos.

Desta actividade concluímos que...

Em relação ao sistema carro-pista optámos, desta forma, por...



## Projecto "*Em pista... ligado ao Sol*"



**FOLHAS DE PLANIFICAÇÃO DAS ACTIVIDADES EXPERIMENTAIS E REGISTOS**

**ACTIVIDADE EXPERIMENTAL 3:** \_\_\_\_\_



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

**Nome da actividade experimental:**

Nesta actividade pretendemos estudar...	
Apresentamos o esquema da montagem...	Como iremos realizar a actividade experimental...
Material de que iremos necessitar...	Para assegurar bons resultados teremos de controlar...



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"

A(s) grandeza(s) que tens de medir...

A(s) grandeza(s) que tens de calcular...

Esboço da(s) tabela(s) a utilizar para os registos.

As tabelas de registo e os gráficos serão anexadas a esta folha de registos.

Desta actividade concluimos que...

Em relação ao sistema carro-pista optámos, desta forma, por...



## Projecto "*Em pista... ligado ao Sol*"



## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”



## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"



## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”



## Projecto "Em pista... ligado ao Sol"



## Projecto "*Em pista... ligado ao Sol*"



## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”



## Projecto “*Em pista... ligado ao Sol*”



Projecto *"Em pista... ligado ao Sol"*

## ***"MEMÓRIA DESCRITIVA" DO PROJECTO***



## Projecto *“Em pista... ligado ao Sol”*



## Projecto *"Em pista... ligado ao Sol"*



## Projecto *“Em pista... ligado ao Sol”*



## Projecto "*Em pista... ligado ao Sol*"



## Projecto *"Em pista... ligado ao Sol"*



## Projecto *"Em pista... ligado ao Sol"*



## Projecto *"Em pista... ligado ao Sol"*