

## Fazer uma célula fotovoltaica

Manuel Azevedo e António Cunha  
Departamento de Física Universidade de Aveiro

Nos últimos anos, tem-se assistido a um crescente interesse da sociedade por questões ligados à protecção do ambiente, da poupança dos recursos energéticos e da procura de novos recursos alternativos, não poluentes, como por exemplo a utilização da energia solar. Todos conhecemos as células solares (painéis) fotovoltaicas que se encontram nas auto-estradas, nos telhados de casas (infelizmente muito pouco em Portugal), nos satélites de telecomunicações e noutros lugares onde não existe rede eléctrica. Na sua maioria estas células solares baseiam-se no semiconductor de silício (Si) que é muito utilizado na microelectrónica. O facto da tecnologia das células fotovoltaicas não ter uma grande utilização na produção directa de electricidade, deve-se aos, ainda relativamente elevados, custos de produção. Daí que existam um elevado número de grupos de investigação no mundo e em Portugal a investigar novos materiais que não o Si e novos métodos de preparação. Um dos mais recentes resultados de investigação mostrou que é possível usar materiais orgânicos na produção de energia, envolvendo um processo semelhante ao que acontece na natureza com a fotossíntese. Em 1991, um grupo de investigação na Suíça, do Instituto Federal de Tecnologia, sob a orientação do Professor Michael Grätzel, desenvolveu uma célula fotovoltaica baseada num corante sintético que transforma uma grande parte da energia solar em energia eléctrica. Ao contrário da fotossíntese, onde a energia solar é utilizada nas plantas para a produção de açúcar, na célula de Grätzel a energia solar é directamente utilizada para a produção de energia eléctrica. Nos secções seguintes descreveremos o funcionamento da célula solar utilizando conhecimentos de Físico-Química do 3º ciclo do Ensino Básico e do Secundário fornecendo a receita para a preparação de uma célula solar fotovoltaica na sala de aula.

### Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica de Grätzel

O que acontece na fotossíntese? A fotossíntese é nada mais do que a transformação de energia solar em energia química. A energia solar é utilizada para fomentar a transformação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e a água (H<sub>2</sub>O) em oxigénio (O<sub>2</sub>) e glucose (açúcar). Na célula fotovoltaica, pretende-se a transformação da energia solar directamente em energia eléctrica.

A célula fotovoltaica de Grätzel é constituída principalmente por moléculas de um corante ("dye"), um semiconductor nanocristalino (TiO<sub>2</sub>, dióxido de titânio), um electrólito (solução de iodo), dois eléctrodos de vidro com uma camada condutora e transparente (SnO<sub>2</sub>) e um catalisador (grafite ou platina). Na figura seguinte apresenta-se o esquema da célula que vamos preparar:

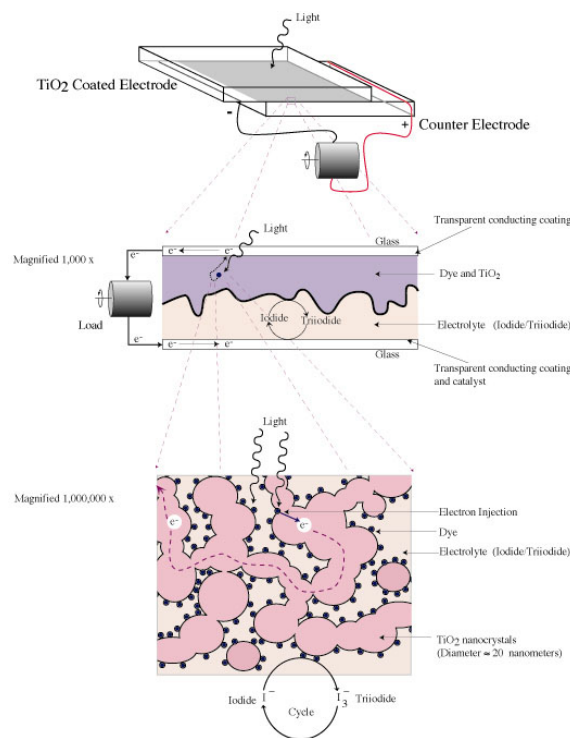


Figura 1: Estrutura da célula fotovoltaica.

O corante (dye) recebe do electrólito um electrão, (reacção III, abaixo). As moléculas do electrólito (solução de iodo) são reduzidas no eléctrodo positivo (recebem um electrão através do eléctrodo). Para facilitar a redução das moléculas na superfície do eléctrodo é depositado uma camada fina de grafite. Para haver um fluxo da corrente eléctrica é necessário ligar os dois eléctrodos a uma resistência de carga.

#### Reacções químicas:

- (I) dye + luz (energia solar) → dye\*
- (II) dye\* + TiO<sub>2</sub> → e<sup>-</sup>(TiO<sub>2</sub>) + dye oxidado
- (III) dye oxidado +  $\frac{3}{2}I^- \rightarrow dye \text{ (neutro)} + \frac{3}{2}I_3^-$
- (IV)  $\frac{3}{2}I_3^- + e^-(\text{eléctrodo}) \rightarrow \frac{3}{2}I^-$

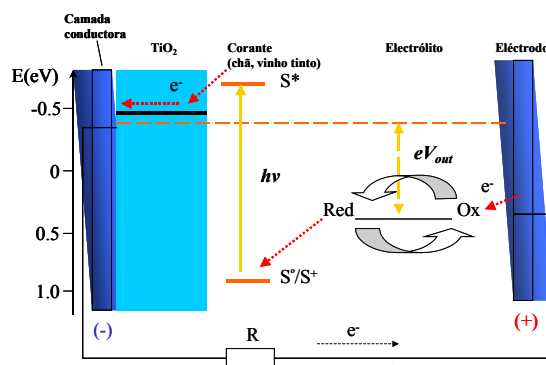


Figura 2: Esquema de energias da célula fotovoltaica

## Preparação da célula fotovoltaica

A preparação da célula fotovoltaica é feita em 4 passos:

1. Preparação do eléctrodo negativo (-)
2. Preparação do eléctrodo positivo (+)
3. Colocação da solução colorida no eléctrodo negativo (-)
4. Montagem da célula fotovoltaica

A descrição da preparação da célula tem como pressuposto que a pasta/solução de  $\text{TiO}_2$  e a solução do corante (chá) já se encontra prontas a utilizar.

### Passo nº 1: Preparação do eléctrodo negativo (-)

- a) Limpar as lamelas de vidro sem a camada de  $\text{TiO}_2$  (transparente) com água e uma escova e depois secar com um pano ou um secador.
- b) Todas as lamelas tem um lado que é coberto por uma camada condutora de  $\text{SnO}_2$  (ITO). O lado condutor da lamela pode ser determinado através da medida da resistência eléctrica com o multímetro.
- c) Coloque na mesa a lamela com a superfície condutora para cima e fixe-o com fita adesiva.
- d) Com a pipeta cheia, é colocada na superfície descoberta da lamela a solução/pasta de  $\text{TiO}_2$ .

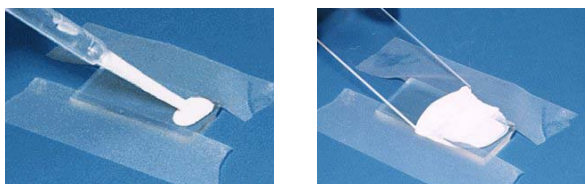


Figura 3: Colocação da pasta de  $\text{TiO}_2$  na lamela de vidro.

- e) Com a pá distribui-se a pasta de  $\text{TiO}_2$  na superfície de modo a obter um filme fino e homogéneo.
- f) Caso o resultado não seja satisfatório, limpe a lamela com um pano húmido e repita a colocação do  $\text{TiO}_2$ .
- g) **Não toque** na solução de  $\text{TiO}_2$  pois isso diminui a sua eficiência!
- h) Seque com um secador a solução de  $\text{TiO}_2$  até que a restante humidade tenha evaporado. A distância entre o secador e a lamela deve ser cerca de 10 cm.
- i) Retire a fita adesiva da lamela com cuidado e sem tocar no  $\text{TiO}_2$ .
- j) Coloque a lamela num forno, para “cozer” o filme de  $\text{TiO}_2$ . A temperatura deve ser entre os  $450^\circ\text{C}$  e  $550^\circ\text{C}$ . O tempo de recozimento é de cerca 10 minutos.

### Passo nº 2: Preparação do eléctrodo positivo (+)

- a) Limpar uma outra lamela de vidro com a camada condutora e transparente com água e uma escova e depois seque com um pano ou um secador.
- b) Determine o lado condutor da lamela com o multímetro (medir a resistência).
- c) Coloque na superfície condutora da lamela de vidro uma camada de grafite com o lápis. A superfície do vidro deverá ficar escurecida.

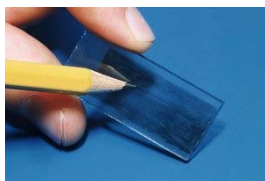


Figura 4: Preparação do eléctrodo positivo com um filme de grafite.

### Passo nº 3: Colocação do corante no eléctrodo negativo (-)

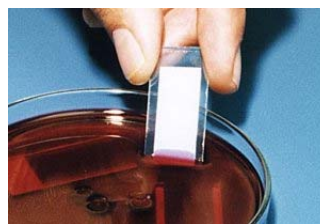


Figura 5: Colocação do corante.

- a) Depois de o eléctrodo negativo estar frio, é necessário “pintá-lo” com a solução colorida (chá) anteriormente preparada.
- b) Coloque o eléctrodo na solução colorida de forma a cobrir completamente o eléctrodo.

- c) Depois de 5 minutos retire o eléctrodo da solução. O eléctrodo deverá ficar com uma cor vermelho/violeta.
- d) Limpe com muito cuidado o eléctrodo da solução colorida que se encontra nos bordos da lamela.
- e) Seque com o secador o eléctrodo. O eléctrodo está seco, quando a intensidade da cor ficar mais fraca.

### Passo nº 4: Montagem da célula fotovoltaica

- a) Junte os dois eléctrodos como indicado na figura 6, utilizando um clip. A camada de  $\text{TiO}_2$  activada com o corante tem que estar em contacto com a camada de grafite. Para mais tarde ligar os cabos eléctricos à célula fotovoltaica, é necessário montar os eléctrodos desfasados.
- b) Para “activar” a célula fotovoltaica, coloque uma gota de electrólito na célula fotovoltaica (ver figura 7).

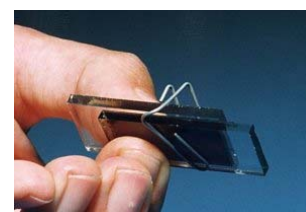


Figura 6: Montagem final da célula.

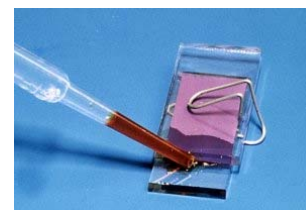


Figura 7: Activar a célula.

- c) Para observar o funcionamento da célula, ligue a célula ao multímetro e meça a corrente eléctrica. Vai observar que a tensão vai aumentar lentamente. Para esta configuração deverá medir uma tensão em circuito aberto de cerca 0,3V.

## Estudos a realizar com a célula fotovoltaica na sala de aula (clubes de ciência e ambiente)

Não foi “fácil” fazer a sua célula fotovoltaica?

Partindo desta experiência pode fazer um conjunto de medidas e interessantes investigações, no âmbito da disciplina de Físico-Química ou em Clubes de Física. Em seguida apresentamos alguns dos tópicos que podem realizar.

1. Determinação da curva I-V da célula fotovoltaica.
2. Determinação da potência em função da resistência de carga.
3. Influência do tipo de corante para os valores característicos da célula. Como outros corantes podem ser usados por exemplo: vinho tinto, sumo, outros tipos de chá, etc.
4. Influência da camada catalisadora (grafite) para o funcionamento da célula.

## Exemplos de estudos

### Determinação da curve I-V da célula fotovoltaica.

A caracterização de uma célula fotovoltaica é realizada através da medida da curva corrente-tensão (I-V). A curva I-V pode ser determinada medindo a tensão e a corrente da célula fotovoltaica para diferentes valores da resistência de carga. Na tabela seguinte encontram-se os dados experimentais de corrente, tensão e resistência obtidos numa das células fotovoltaicas de Grätzel.

I( $\mu$ A)	U(V)	R( $\Omega$ )
374	0.0017	5
373	0.0037	10.4
372	0.007	20
370	0.011	31.2
367	0.019	54
356	0.061	170
352	0.073	207
353	0.095	266
355	0.106	300
346	0.132	380
343	0.142	413
333	0.168	505
324	0.182	556
307	0.201	652
248	0.248	1000
149	0.3	2000
106	0.32	3000
82	0.33	4000
67	0.336	5000
56	0.34	6000

No gráfico em baixo, representa-se a curva corrente-tensão.

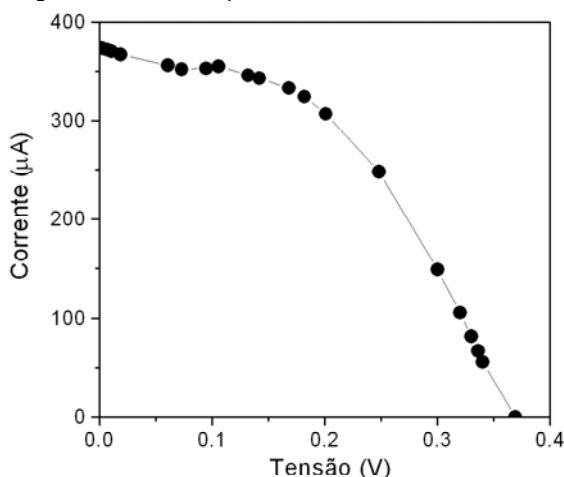


Figura 8: Curva corrente-tensão.

A forma da curva corrente-tensão é semelhante à de uma junção semicondutora *p-n* (diodo). A célula fotovoltaica comporta-se para baixos valores de tensão como uma fonte de corrente ( $V < 0,5V$ ). Da representação gráfico podemos obter os parâmetros da célula:

Tensão em circuito aberto:  $V_{OC} = 0.369 V$   
 Corrente máxima:  $I_{max} = 374 \mu A$

### Determinação da potência da célula fotovoltaica (em função da resistência de carga).

Um dado importante para a aplicação das células fotovoltaicas como fonte de alimentação, é a potência eléctrica que estas podem fornecer em função da carga eléctrica (resistência). Para obtemos esse dado teremos que calcular a potência da célula para cada valor da resistência da carga ( $P = U \times I$ ).

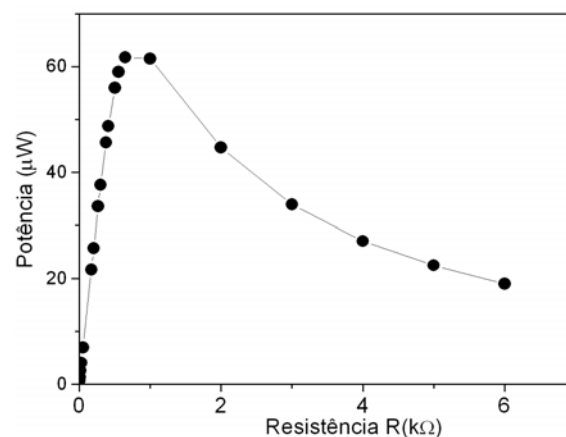


Figura 9: Curva potência fornecida pela célula em função da carga.

Da representação da potência em função da resistência de carga, podemos verificar que só para um valor específico da resistência de carga é que a célula fotovoltaica fornece a sua máxima potência. Para o caso da célula aqui estudada, obtemos um potência máxima de  $P_{max.} = 60 \mu W$  para uma resistência de carga de  $R_{carga} = 700 \Omega$ .

## Bibliografia

1. B. O'Regan, M. Grätzel, Nature 353, 737-739 (1991).
2. A. Kay, M. Grätzel, J. Phys. Chem. 97, 6272 (1993).
3. G.P. Smestad, M. Grätzel, J. Chem. Educ. 75, 752 (1998).