

# Estudar o desempenho de células fotovoltaicas

## Prática 02, grupo nº 05

Bernardo Espírito Santo<sup>1</sup>, Magner Gusse<sup>2</sup> e Rúben Abreu<sup>3</sup>

<sup>1</sup>107736, bernardosanto@ua.pt; <sup>2</sup>110180, magnergusse@ua.pt; <sup>3</sup>107421, rubenabreu@ua.pt

**Resumo** — Nesta atividade prática teve-se como objetivo estudar o desempenho de células fotovoltaicas quando apresentadas em condições de luz ambiente e através de simulação solar utilizando um foco com intensidade luminosa não muito elevada para não sobreaquecer as células durante os períodos de medição. Fizemos 5 medições sendo duas destas em luz ambiente com as células SOL4N e SOL1N e outras três medições com as mesmas células recorrendo ao uso do foco. Através destas medições obtemos valores de corrente e tensão para cada montagem. Com os valores obtidos calculamos FF, Vm, Im, a eficiência e o fator de idealidade.

I. **palavras-chave** – célula fotovoltaica, eficiência, fator de idealidade.

### II. Introdução

A conversão de energia solar em eletricidade desempenha um papel crucial na busca por fontes de energia renovável e sustentável. As células fotovoltaicas, também conhecidas como painéis solares, são dispositivos semicondutores que têm a capacidade de transformar a luz solar em eletricidade de forma eficiente.

Como funciona uma célula fotovoltaica? Quando a luz solar incide sobre a célula, os fótons de luz são absorvidos pelo material semicondutor. A energia dos fótons é transferida para os eletrões do material, excitando-os e liberando-os da sua posição original. Os eletrões excitados (carga negativa) são liberados da estrutura atômica, deixando para trás buracos (cargas positivas) onde estavam ligados. À medida que os eletrões se movem através do material, eles geram uma diferença de potencial elétrico. Esta tensão é a tensão da célula fotovoltaica, também conhecida como tensão de circuito aberto (Voc). A energia elétrica produzida pela célula fotovoltaica pode ser usada, diretamente ou armazenada, em baterias para uso posterior. Em sistemas fotovoltaicos maiores, várias células fotovoltaicas são conectadas em série e em paralelo para produzir a quantidade de eletricidade desejada.

Este estudo visa analisar o desempenho de células fotovoltaicas por meio da caracterização das suas características elétricas, bem como investigar como as variáveis de intensidade da luz incidente afetam as características de corrente (Im) e tensão (Vm) das células.

Neste estudo, serão utilizadas duas células fotovoltaicas de diferentes dimensões, e o uso de um simulador solar com baixa intensidade de iluminação garantirá a precisão das medições e evitará o sobreaquecimento das células durante a atividade. Os resultados deste estudo contribuirão para a expansão do conhecimento sobre a eficiência e o comportamento das células

fotovoltaicas.[4]

### I. DESCRIÇÃO DA MONTAGEM EXPERIMENTAL

A montagem da atividade experimental foi realizada pelo docente. Nós apenas tivemos de adicionar o potenciômetro ao circuito.

Quanto à atividade experimental tivemos que escolher as células fotovoltaicas que pretendíamos usar. Na primeira fase, e para cada célula, medimos a corrente (Isc) e a tensão (Voc), enquanto variávamos os valores do potenciômetro, através dos multímetros, enquanto estava exposta à luz natural. Após concluirmos esta etapa, ligamos o simulador solar, e através de um sensor medimos a corrente que era induzida pela fonte luminosa. Por fim, expusemos a célula fotovoltaica à radiação luminosa do simulador solar, e registamos, novamente, os valores de corrente e de tensão, enquanto variávamos os valores do potenciômetro.



**Fig.1 e Fig.2** – Montagem principal da experiência realizada.

#### A. Abreviaturas e acrónimos

FF- Fill factor, Voc- Tensão em circuito aberto, Isc- Corrente em curto-circuito, Pm-Potência máxima, Im- Corrente máxima, Vm- Tensão máxima,  $\eta$ -eficiência, n-fator de idealidade,  $P_m$ - Potência máxima,  $I_{luminoso}$ - Intensidade de corrente luminosa,  $P_{inc}$ -Potência incidente da célula,  $R_s$ -Resistência em série teórico,  $R_p$ -Resistência em paralelo teórico, q- Carga elementar do eletrão( $-1.602 \times 10^{-23}$ ),  $K_b$  -Constante de Boltzmann( $1.381 \times 10^{-23}$ ), T-Temperatura do espaço envolvente.

## II. RESULTADOS E ANÁLISE

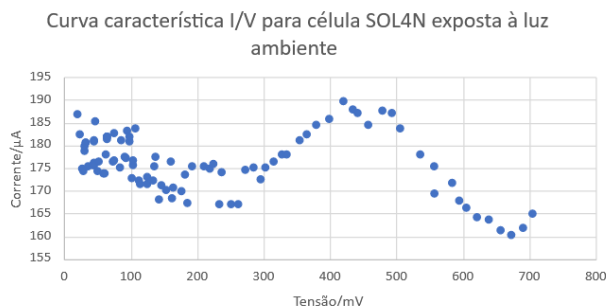
Incertezas dos aparelhos de medida:

Multímetro em função de voltímetro:  $\pm 0.1\text{mV}$

Multímetro em função de voltímetro:  $\pm 1\text{ }\mu\text{A}$

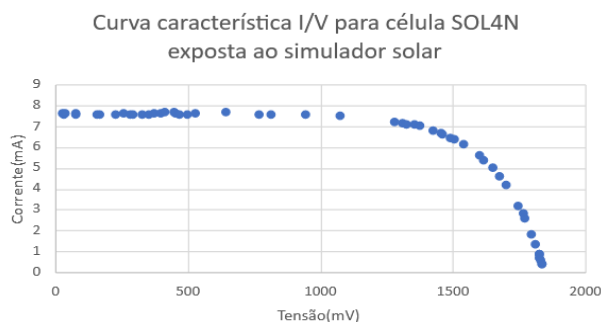
### Célula fotovoltaica SOL4N, 72x46 mm<sup>2</sup>

Esta célula apresenta um valor teórico de  $V_{oc}$  igual a 2.4V e um valor de  $I_{sc}$  igual a 0.22A.



**Fig.3-** Gráfico da Corrente em função da tensão para a célula SOL4N exposta à luz ambiente.

Através desta curva característica obtivemos os valores da resistência em série ( $R_s$ ) e em paralelo ( $R_p$ ) pelos declives da parte inicial e final do gráfico, respetivamente. Neste caso, a  $R_s$  é igual a 51.02 k $\Omega$ , enquanto o  $R_p$  é igual a 8.89 k $\Omega$ .



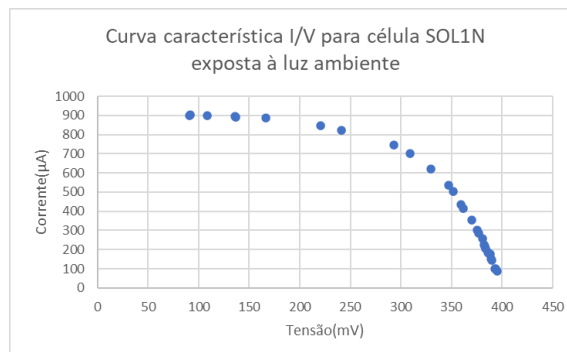
**Fig.4-** Gráfico da Corrente em função da tensão para a célula SOL4N exposta ao simulador solar.

Através da curva característica anterior obtemos a  $P_m$ ,  $V_m$  e  $I_m$ . A  $P_m$  é igual a 9.74 mW, a  $V_m$  é 1.43V e a  $I_m$  é 6.83mA. Utilizando a equação 1 obtivemos o valor de FF que é igual a 0.0184. Através da equação 6, obtivemos o valor da potência incidente,  $P_{inc}$ , que é igual a 99.1 mW. Deste modo o rendimento foi de 9.8%. Quanto ao fator de idealidade,  $n$ , deu-nos um valor igual a 1202.1.

Relativamente aos valores práticos, foram calculados a partir das equações de retas do  $R_s$  e  $R_p$  e obtivemos  $I_{sc} = 7.621\text{mA}$  e  $V_{oc} = 1.849\text{V}$

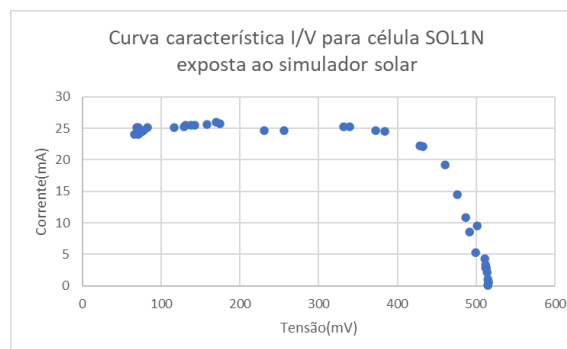
### Célula fotovoltaica SOL1N, 45x40 mm<sup>2</sup>

Esta célula apresenta um valor teórico de  $V_{oc}$  igual a 0.6V e um valor de  $I_{sc}$  igual a 0.44A.



**Fig.5-** Gráfico da Corrente em função da tensão para a célula SOL1N exposta à luz ambiente.

Através desta curva característica obtivemos os valores da resistência em série ( $R_s$ ) e em paralelo ( $R_p$ ) pelos declives da parte inicial e final do gráfico, respetivamente. Neste caso, a  $R_s$  é igual a 5.76 k $\Omega$ , enquanto o  $R_p$  é igual a 97.75 $\Omega$ .



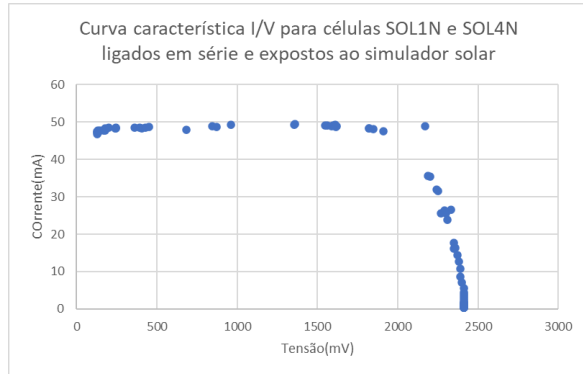
**Fig.6-** Gráfico da Corrente em função da tensão para a célula SOL1N exposta ao simulador solar.

Para a esta célula fotovoltaica obtivemos uma  $P_m$  igual a 9.55 mW, uma  $V_m$  é 432mV e uma  $I_m$  é 22.10mA.

Utilizando, novamente, a equação 1 obtivemos o valor de FF, que é igual a 0.0361. A potência incidente na célula durante esta experiência foi de 89.2mW. Através da equação 5 calculamos a intensidade de corrente luminosa que nos deu 49,56 W/m<sup>2</sup>. Com isto podemos calcular a eficiência através da equação 2 à qual nos deu um valor de 10,7%. Quanto ao fator de idealidade obtivemos um valor igual a 126.9.

Relativamente aos valores práticos calculados através das equações das retas  $R_s$  e  $R_p$  obtivemos  $I_{sc} = 0.025\text{A}$  e  $V_{oc} = 0.52\text{V}$

## Células fotovoltaicas SOL1N e SOL4N ligados em série



**Fig.7-** Gráfico da Corrente em função da tensão para ambas células ligadas em série e expostas ao simulador solar.

Apenas realizamos esta montagem, de duas células em série, para visualizar a respetiva curva I-V.

## A. Equações

$$FF = \frac{V_M I_M}{V_{OC} I_{SC}} = \frac{P_M}{V_{OC} I_{SC}} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{P_M}{P_{inc}} \times 100\% = \frac{V_{OC} I_{SC} FF}{P_{inc}} \times 100\% \quad (2)$$

$$n = \frac{V_M - V_{OC}}{\frac{k_B T}{q} \ln\left(1 - \frac{I_M}{I_{SC}}\right)} \quad (3)$$

$$P_m = I_m \times V_m \quad (4)$$

$$I_{luminoso} = \frac{1000}{5,69} \times I \quad (5)$$

$$P_{inc} = I_{lum} \times A \quad (6)$$

$$R_s = \frac{V_{OC} - V_{m\acute{a}x}}{I_{m\acute{a}x}} \quad (7)$$

$$R_p = \frac{V_{m\acute{a}x}}{I_{SC} - I_{m\acute{a}x}} \quad (8)$$

## B. Tabelas

Na tabela 1 apresenta-se os símbolos, nomes e unidades dos fatores calculados nesta atividade experimental.

TABELA I

Unidades importantes para medições de células fotovoltaicas

Símbolo	Nome	Unidades
$\eta$	Eficiência	Adimensional
$n$	Fator de idealidade	Adimensional
$FF$	Fill factor.	Adimensional
$V_{oc}$	Tensão em circuito aberto	Volts
$I_{sc}$	Corrente em curto-circuito	Amperes
$P_m$	Potência máxima	Watts
$I_m$	Corrente associada a $P_m$	Amperes
$V_m$	Tensão associada ao $P_m$	Volts
$R_s$	Resistência em série	Ohm( $\Omega$ )
$R_p$	Resistência em Paralelo	Ohm( $\Omega$ )
$P_{inc}$	Potência incidente	Watts
$I_{luminoso}$	Intensidade de corrente luminosa	Watts/ $m^2$
$A$	Área	$m^2$
$T$	Temperaturas	Kelvin
$q$	Carga elementar do eletrão	C
$k_B$	Constante de Boltzman	Joules/Kelvin

## Discussão

O valor de  $I_{sc}$  para a primeira célula (SOL4N) obtido foi bastante diferente do valor teórico tendo um erro relativo de 96.5%, no entanto o valor obtido para  $V_{oc}$  foi bastante próximo do teórico sendo que o erro relativo é de 22.9% o que é bastante aceitável dada a qualidade das células fotovoltaicas usadas.

Relativamente à segunda célula (SOL1N) o valor de  $I_{sc}$  tal como na primeira célula deu bastante diferente do teórico tendo um erro associado de 94.3% e o valor de  $V_{oc}$  é praticamente igual ao valor teórico tendo um erro associado de cerca de 13.3%.

Ao montar as duas células em série com o objetivo de verificar o comportamento das mesmas, conseguimos notar que o efeito causado é significativo, sendo que tanto a gama de tensões como a de correntes aumentam.

Em ambas as células observamos que a eficiência é bastante baixa cerca de 10% comparado com os 20% das células fotovoltaicas utilizadas no mercado [1].

## III. CONCLUSÃO

Na realização deste trabalho concluímos que alguns dos resultados obtidos foram pouco precisos, nomeadamente quando realizamos a experiência com os painéis expostos a luz ambiente, esta apresenta maior flutuação dos valores devido as condições apresentadas na sala como o movimento das pessoas que cria mais sombra sobre os painéis e consequentemente maior erro nas medições. Por outro lado, quando realizamos a experiência com o simulador solar o aquecimento das células fotovoltaicas afetou também os resultados, embora de forma menos significativa.

## REFERÊNCIAS

*Artigo:*

- [1] Kakkan Ramalingam, Chandrasen Indulkar, Capítulo 3 “Chapter 3-Solar Energy and Photovoltaic Technology,” em *Solar energy and Photovoltaic Technology*, Editor(s): G.B. Gharehpetian, S. Mohammad Mousavi Agah, Distributed Generation Systems, Butterworth-Heinemann,.2017, Páginas 69-157
- [2] Gago João, Capítulo 2” Sistema solar fotovoltaico” em Projeto, acompanhamento e execução de instalações de energias renováveis, ISEC(Instituto Superior de Engenharia de Coimbra), 2013, Páginas 46-55
- [3] Marques Carlos, Guião de trabalhos práticos 23-24, UA (Universidade de Aveiro), 2023, Página 1
- [4] PINA, Jair António Marques de. Optimização de células fotovoltaicas. 2013. PhD Thesis. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

## ANEXOS

*Em anexo contêm o Excel dos cálculos efetuados e dos gráficos apresentados sendo também composto pelos gráficos  $R_s$  e  $R_c$  de cada célula.*