

EFEITO DE ATENUADORES DE IRRADIÂNCIA SOLAR NOS ENSAIOS DE DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS

Andrade, A.C., Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS
e-mail: kbral@puers.br

Vera, L. H., Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.
e-mail: lh_vera@yahoo.com.ar

Prieb, C. W. M., Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Krenzinger, A., Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Abstract. *O objetivo deste trabalho é validar o uso de telas de sombreamento pretas como atenuadores de irradiância solar no ensaio de dispositivos fotovoltaicos utilizando o Sol com fonte luminosa. Um experimento foi montado para verificar se eventuais desuniformidades espaciais ou instabilidades temporais poderiam causar distorções na curva I-V de dispositivos fotovoltaicos. Curvas I-V de uma célula fotovoltaica encapsulada foram traçadas sob diversas condições, tanto sob iluminação direta como cobertas pela tela a diferentes distâncias. Dois tipos de telas de polietileno foram testadas. As telas foram esticadas sobre molduras de madeira e suas áreas eram grandes o suficiente para serem consideradas infinitas do ponto de vista da célula fotovoltaica. A irradiância solar no plano de teste foi medida por uma célula de referência colocada junto à célula sob teste. Uma célula de referência externa foi utilizada para garantir que não houve flutuações de irradiância durante o teste. Os dados de tensão, corrente e irradiâncias foram coletados por um sistema automático de aquisição de dados. Os resultados mostraram que as telas de sombreamento testadas podem ser utilizadas como atenuadores de irradiância para o ensaio de dispositivos fotovoltaicos. A qualidade da luz atenuada excede os requisitos mínimos de simuladores solares classe A.*

Keywords. *fotovoltaico, radiação solar, energia solar.*

1. Introdução:

O estudo, desenvolvimento e utilização de sistemas fotovoltaicos têm aumentando no mundo, e também no Brasil. Isto se deve em grande parte à necessidade da geração de energia elétrica por meios que permitam minimizar o consumo proveniente de fontes convencionais e, desta forma, reduzir as emissões de substâncias poluentes ao meio ambiente. Sob este aspecto, a energia solar mostra-se como uma excelente alternativa para enfrentar com grandes perspectivas esta situação, considerando as quantidades de radiação solar que o país recebe.

A necessidade de abastecer com energia elétrica as comunidades isoladas está fazendo com que o governo brasileiro desenvolva várias ações em conjunto com as companhias de geração e distribuição de energia. Por estas razões o fomento a pesquisas na área de energias renováveis, como a solar, incrementou-se nos últimos tempos.

Os centros de pesquisa devem investigar características dos equipamentos existentes, condições de irradiância e disponibilizar informações que permitam a montagem de sistemas técnica e economicamente viáveis. Com este objetivo, simular diferentes condições de radiação sobre os painéis fotovoltaicos passa a ter uma grande importância. Estas simulações proporcionam informações sobre a capacidade de geração para diferentes situações de irradiância e podem ser realizadas através de sistemas que possibilitam a variação de radiação, com equipamentos denominados “simuladores solares”. Estes simuladores podem apresentar inconvenientes na reprodução do espectro solar, na estabilidade e na uniformidade do fluxo radiante, além de ter um elevado custo.

Buscando alternativas que possibilitem variações de irradiância com elementos de baixo custo, que por sua vez não mudassem o espectro de radiação solar, uniformidade e estabilidade temporal, decidiu-se utilizar coberturas que reduzissem a incidência de radiação solar sobre os módulos fotovoltaicos.

Para atingir este objetivo foram construídas molduras sobre as quais fixaram-se telas com diferentes porcentagens de sombreamento.

No procedimento dos ensaios as telas foram posicionadas frente a uma célula fotovoltaica (encapsulada) de modo que ficassem paralelas à sua superfície e, com o sistema de aquisição de dados do Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LES-UFRGS), foram feitas medidas de irradiância, tensão e corrente através de multímetros HP. Posteriormente traçaram-se as curvas características I-V. Estas curvas permitiram determinar as variações de potência gerada com e sem cobertura, a uniformidade e estabilidade da radiação. Esta análise é de fundamental importância na caracterização de um gerador fotovoltaico, pois a partir dela é possível obter-se os principais parâmetros que determinam sua qualidade e desempenho.

2. Generalidades.

As células fotovoltaicas, baseando-se nas propriedades dos materiais semicondutores, transformam a energia radiante proveniente do Sol em energia elétrica, sem mediação de reações químicas ou processos mecânicos que requeiram partes móveis.

O processo de transformação de energia solar em energia elétrica acontece em um dispositivo semicondutor que se denomina célula fotovoltaica. Quando a luz do Sol incide sobre uma célula fotovoltaica, os fótons da luz solar transferem sua energia aos elétrons do semicondutor para que assim possam circular dentro do sólido. A célula fotovoltaica é formada por uma junção de semicondutor tipo N com semicondutor tipo P. Nesta junção se estabelece um campo elétrico. Os elétrons liberados pela luz são acelerados neste campo elétrico gerando uma corrente elétrica capaz de circular por um circuito externo.

Considerando o fato das células serem feitas de placas finas de silício, as mesmas são encapsuladas objetivando sua proteção mecânica. As mesmas são associadas em série, paralelo ou de ambas formas até atingir a corrente e tensão desejadas. A energia gerada é proporcional à área ativa do módulo e à radiação incidente sobre o mesmo.

2.1. Condições padrão para ensaios de módulos fotovoltaicos

A norma ASTM E-1036 define como condições padrão de teste, para irradiância e temperatura das células do módulo respectivamente, os valores de 1000 W/m^2 e $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Quanto à distribuição espectral as normas, ASTM E-891 e E-892, apresentam espectros de referência da irradiância solar terrestre direta normal e global, com massa de ar 1,5 para uma superfície com inclinação de 37° .

A norma brasileira NBR12136/MB3477 complementa as informações necessárias para proceder aos ensaios.

2.2. Espectro da radiação solar e massa de ar

A radiação solar, ao atravessar a atmosfera, é submetida em um conjunto de fenômenos que alteram seu espectro. Nas aplicações fotovoltaicas é importante conhecer o espectro da radiação solar, ou seja a distribuição da energia total que incide sobre uma unidade de área em função do comprimento de onda. Este conhecimento é relevante devido à seletividade espectral das células fotovoltaicas, que apresentam uma banda de sensibilidade limitada a uma determinada região do espectro solar (comprimentos de onda de $0,3$ a $1,1 \mu\text{m}$).

A irradiância solar global incidente em superfícies horizontais varia com a posição solar. Quando os raios solares não estão perpendiculares à superfície da Terra, a radiação estende-se sobre uma área maior. Nestas condições, a radiação também atravessa uma maior camada atmosférica. A combinação destes dois efeitos reduz a irradiância no plano horizontal.

O conceito de massa de ar (AM) está relacionado (Iqbal, 1983) ao caminho percorrido pela radiação solar ao atravessar a atmosfera em relação ao percurso da radiação solar no ângulo de zênite igual a zero até uma superfície ao nível do mar. Com a variação do ângulo de zênite diferentes valores de massas de ar podem ser obtidos. Para a radiação solar extraterrestre é considerada massa de ar zero (AM0).

2.3. Simuladores solares

Podem ser utilizadas como fonte luminosa para a determinação da curva característica de módulos fotovoltaicos, tanto a radiação solar natural como a produzida por simuladores solares.

Simuladores solares são constituídos por três componentes principais: uma fonte de luz, elementos óticos e os controles de operações.

A NBR11879/EB2179 estabelece os requisitos de desempenho de um simulador solar para utilização em ensaios de dispositivos fotovoltaicos não concentradores. Esta norma, aplicável tanto a simuladores de luz contínua como pulsada, classifica os simuladores em três classes, de acordo com suas características, conforme mostrado na Tab. (1). Os simuladores classe A são utilizados para medidas em laboratório, enquanto que os de classe B destinam-se a testes em nível industrial.

Tabela 1. Classificação das diferentes classes de simuladores em função de sua uniformidade e estabilidade.

Característica	Classe A	Classe B	Classe C
Uniformidade de radiação	$\leq \pm 2 \%$	$\leq \pm 5 \%$	$\leq \pm 10 \%$
Estabilidade temporal	$\leq \pm 2 \%$	$\leq \pm 5 \%$	$\leq \pm 10 \%$

2.4. Curva característica I-V

A norma ABNT (NBR10899/TB-328) define a curva característica de tensão versus corrente como a “representação dos valores da corrente de saída de um conversor fotovoltaico, em função da tensão, para condições preestabelecidas de temperatura e radiação”.

A análise da curva I-V é de fundamental importância na caracterização de um gerador fotovoltaico, pois a partir dela é possível obter-se os principais parâmetros que determinam sua qualidade e desempenho.

Uma boa célula de silício cristalino apresenta, partindo do curto-circuito, uma corrente quase constante, decrescendo levemente com o aumento da tensão até chegar a um joelho, a partir do qual assume um comportamento de rápida diminuição, até cortar quase verticalmente o eixo das tensões. A potência fotogerada, obtida multiplicando-se a corrente pela tensão, apresenta um máximo nitidamente localizado próximo ao joelho da curva I-V.

Na curva de uma célula fotovoltaica, identificam-se três pontos característicos:

- Corrente de curto-circuito I_{SC} : corrente que circula por uma célula iluminada quando a tensão em seus terminais é nula.
- Tensão de circuito aberto V_{OC} : tensão entre os terminais uma célula iluminada quando a corrente que circula por ela é nula.
- Ponto de máxima potência P_M : ponto da curva I-V para o qual o produto tensão-corrente é máximo.

2.5. Efeito da irradiância sobre a curva característica I-V

A corrente de curto-circuito de uma célula varia linearmente com a irradiância.

A Fig. (1) representa as curvas características de uma célula mantida à temperatura constante e sob diferentes condições de iluminação. Pode-se observar um incremento na corrente de curto-circuito proporcional à intensidade de radiação solar incidente, enquanto que a tensão de circuito aberto aumenta logarithmicamente, exceto para valores de irradiância muito baixos.

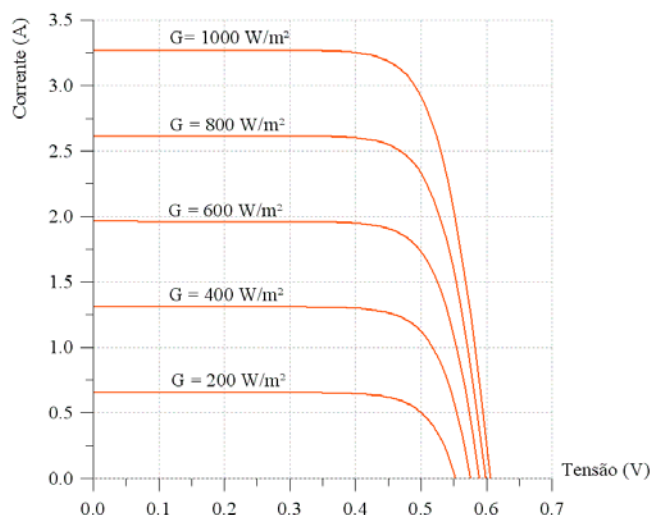


Figura 1. Efeito da variação da irradiância “G” sobre o comportamento de uma célula fotovoltaica.

3. Descrição dos elementos utilizados

Para a realização deste trabalho utilizaram-se telas de diferentes graus de sombreamento, uma célula de teste, duas células de referência e um sistema de aquisição de dados. Estes elementos serão descritos a seguir:

3.1. Telas de sombreamento

As telas de sombreamento são comumente utilizadas na agricultura, tendo como finalidade a redução da incidência de radiação solar em determinadas áreas. Conforme a necessidade podem ser encontradas telas com diferentes porcentagens de sombra que vão de 7% até 90%.

As telas de sombreamento são construídas com fitas de polietileno tramadas formando uma rede. As porcentagens de sombra estão associadas às distâncias entre as fitas e também com a largura das fitas. Estes detalhes construtivos fazem com que diferentes áreas de orifícios, formados pela trama de plásticos, deixem passar diferentes quantidades de radiação.

Foram construídas estruturas conforme mostra a Fig. (2), para servir de suporte de diferentes telas de sombreamento cujas dimensões são 1,5 m x 0,7 m. Estas telas são colocadas frente à célula fotovoltaica testada.



Figura 2. Estrutura e tela de sombreamento com um disquete no extremo inferior direito, para referência dimensional.

O grau de sombreamento da Tela 1 é de 50% (dados de catálogo), com um tamanho médio dos espaços livres de 2 mm x 2 mm Fig. (3a).

A Tela 2 é utilizada para evitar a entrada de insetos em ambientes, a qual não é qualificada em relação a sua porcentagem de sombreamento, com um tamanho médio dos espaços livres de 1,5 mm x 1,5 mm Fig. (3b). Selecionouse esta tela pela uniformidade que apresenta sua malha.



Figura 3. Detalhe das malhas das telas utilizadas, Tela 1(Fig 3a), Tela 2 (Fig 3b).

Devido à conformação da tela, que permite a passagem direta da radiação solar, o espectro da radiação incidente sobre módulos fotovoltaicos não é alterado.

Um fator importante é que a tela deve ser estendida uniformemente sobre a estrutura. Diferentes tensões mecânicas podem causar deformações, com conseqüentes diferenças de tamanho dos orifícios e uma não uniformidade da área sombreada. Outro fator a ser considerado deve ser o paralelismo entre o plano da célula e da estrutura da tela.

3.2. Sistema de aquisição de dados

No sistema proposto os valores de corrente e tensão (além da irradiância) são adquiridos através de multímetros de alta qualidade, individuais e independentes, em conjunto com uma fonte bipolar que polariza o dispositivo fotovoltaico sob teste. Todo o instrumental, disposto em um gabinete Fig. (5), é controlado por um software que garante a concomitância das medidas. O sistema foi desenvolvido no LES-UFRGS (Prieb, 2002).

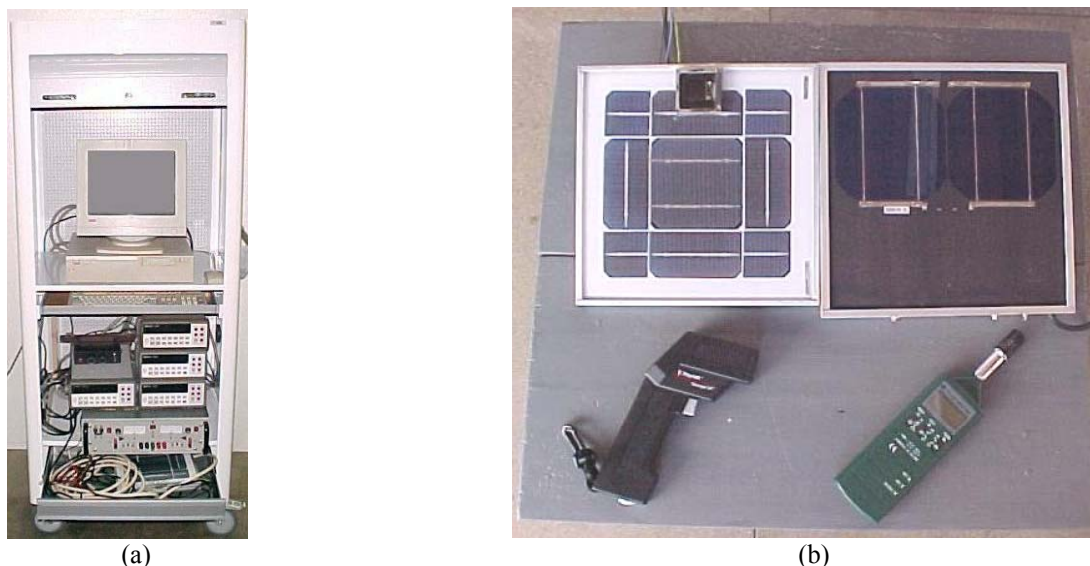


Figura 4. Gabinete com o instrumental utilizado para a determinação das curvas: computador, instrumental de medição, fonte, gerador de varredura e *shunt* (Fig. 4a). Célula de teste, células de referência, termo-higrômetro e termômetro infravermelho sem contato (Fig. 4b).

Os elementos utilizados no ensaio são:

Célula de referência 1 (CR1): para as medidas de irradiância atrás da tela, é empregada uma célula de silício monocristalino fabricada e calibrada no Instituto de Energía Solar – Univesidad Politécnica de Madrid (IES/UPM).

Célula de referência 2 (CR2): para as medidas de irradiância fora da área de cobertura da tela, é empregada uma célula de referência de silício monocristalino calibrada, fabricada pela BP-Solar.

Célula de teste (CT): célula encapsulada ISOFOTON. As dimensões totais do encapsulamento da célula são de 27 cm x 27 cm x 2 cm, e as dimensões da célula de 10 cm x 10 cm.

Termo-higrômetro Minipa MTH-1630: medida da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente. Estas medidas são utilizadas para determinar, por meio do software ESPECTRO desenvolvido no LES-UFRGS, as diferenças entre o espectro real e o espectro padrão.

Termômetro eletrônico sem contato Raynger ST6: medida da temperatura das células.

O programa que gerencia o instrumental e a aquisição de dados, tem como principal característica a simultaneidade entre as medidas da tensão e da corrente. Em favor da velocidade na aquisição dos pontos, faz-se uso das memórias internas dos multímetros, capazes de armazenar até 500 leituras. Os dados somente são transferidos e apresentados após concluída a medida. Terminada a medida, que dura cerca de 1,8 segundos, o programa recebe os dados das memórias dos multímetros e os apresenta graficamente na tela do computador.

4. Metodologia e procedimento de ensaio

As curvas características da célula fotovoltaica são traçadas utilizando o próprio Sol como fonte de radiação. Para a execução das medidas são escolhidos dias de céu limpo, em horários tais que seja possível obterem-se valores de irradiância e espectro solar global próximos aos valores estabelecidos como padrão em orientação tal que os raios solares atinjam a célula da forma mais perpendicular possível. Para garantir a coplanaridade entre as células, a de referência é fixada à moldura da ensaiada.

A célula de referência 2 é também orientada com o seu plano perpendicular aos raios solares. Esta célula serve como referência dos valores de irradiância sem a influência das telas.

As medidas foram realizadas a temperaturas próximas a 25°C. Para garantir esta condição, mantiveram-se as células cobertas até o início das medições. Como o processo de medida tem uma duração menor de 2 segundos não ocorrem variações significativas na temperatura das células.

Com o objetivo de testar a uniformidade da radiação incidente sobre as células cobertas foram realizadas várias medições com diferentes afastamentos com ambas as telas. As respectivas distâncias adotadas foram de 12cm até 40cm.

4.1. Procedimento para a obtenção da curva I-V

A metodologia utilizada para a realização do ensaio foi a seguinte:

- 1) Calibrar a célula de referência 2 tomando como padrão a célula de referência 1 aferida pelo IES-UPM;
- 2) Colocar as células perpendiculares à direção da radiação solar direta, com uma cobertura sobre as mesmas (fazendo o ensaio longe de edificações ou objetos que possam refletir a radiação solar e interferir nos valores medidos);
- 3) Fazer sucessivas medições com o termômetro infravermelho das temperaturas da célula ensaiada e das células de referência até a estabilização.
- 4) Retirar a cobertura e imediatamente adquirir os dados das condições sem telas.
- 5) Recolocar as coberturas e medir novamente, com o termômetro infravermelho, as temperaturas das células.
- 6) Colocar a tela de sombreamento entre a cobertura e a célula de teste, paralela ao seu plano e afastada a uma distância de 12 cm.
- 7) Retirar a cobertura e imediatamente adquirir os dados.
- 8) Recolocar as coberturas e medir novamente, com o termômetro infravermelho, as temperaturas das células.
- 9) Repetir os procedimentos a partir do item “6” aumentando as distâncias da tela em relação às células cobertas.

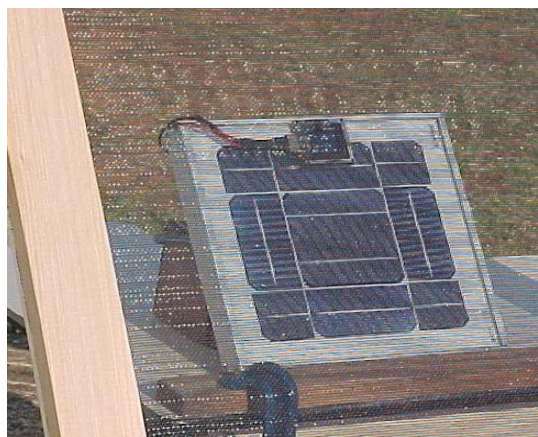


Figura 5. Célula de referência e célula sob teste, com a tela de sombreamento paralela a seu plano.

5. Apresentação e análise de resultados

Conforme o objetivo do trabalho, foram feitas medidas em condições tais que a célula de teste e a de referência 1 foram submetidas a reduções de irradiância com a utilização das telas. A seguir é apresentada uma análise dos resultados das condições em que as células de referência encontravam-se no momento de ensaio.

A Fig (6) mostra o comportamento da radiação nas medições realizadas, e a Fig. (7) e Fig. (8) as ampliações das regiões 1 e 2 identificadas na Fig (6). As ampliações foram feitas com o intuito de obter uma melhor visualização das magnitudes das variações de irradiância.

A redução de irradiância para a Tela 1, nas condições de ensaio, é de 50%, e a Tela 2 tem uma redução de 44%.

As variações de irradiância sem telas durante o período de ensaio são ligeiramente menores que as variações com telas, mostrando que, apesar das telas introduzem alguma instabilidade temporal na radiação incidente, esta é desprezível.

Uma maior estabilidade foi obtida para valores de afastamentos próximos a 30cm. Esta pode ser atribuída a uma maior uniformidade da radiação sobre as células (eliminação das sombras localizadas).

Considerando a relação geométrica entre as telas e o módulo ensaiado, para afastamentos menores que 20 cm os efeitos da radiação difusa proveniente de regiões não cobertas pela tela podem ser negligenciados devido ao efeito do ângulo de incidência maior do que 60°. Para o caso de distâncias maiores (maior ângulo de visão para a radiação difusa), além de ser pequena a radiação difusa que ingressa fora dos limites da tela, pode-se observar que não foi provocado um incremento de irradiância sobre a célula de referência 1.

Como mencionado anteriormente, as medições foram realizadas em dias sem nuvens e, nestes casos, a fração de radiação difusa é pequena.

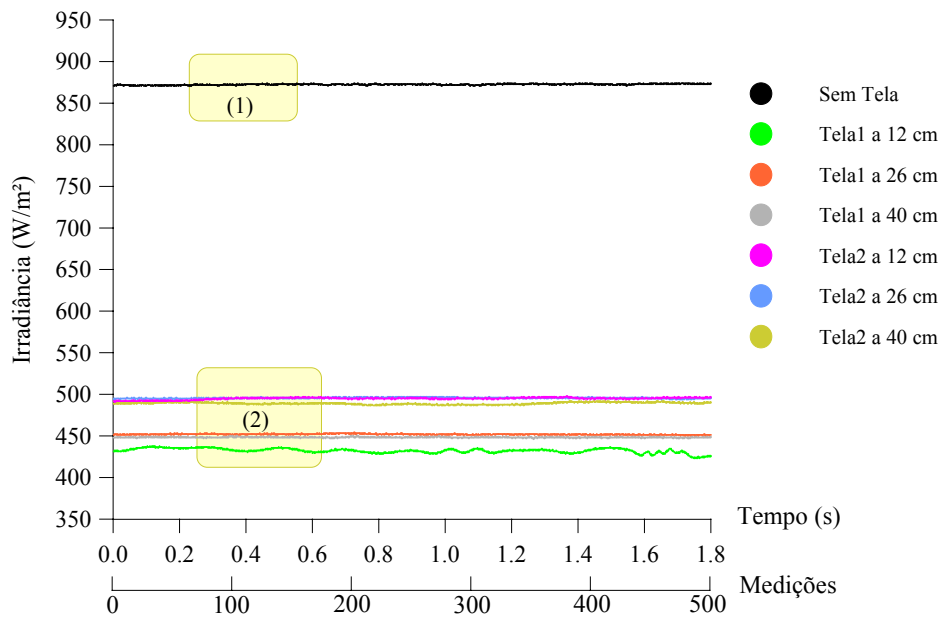


Figura 6. Irradiâncias obtidas com a célula de referência 1.

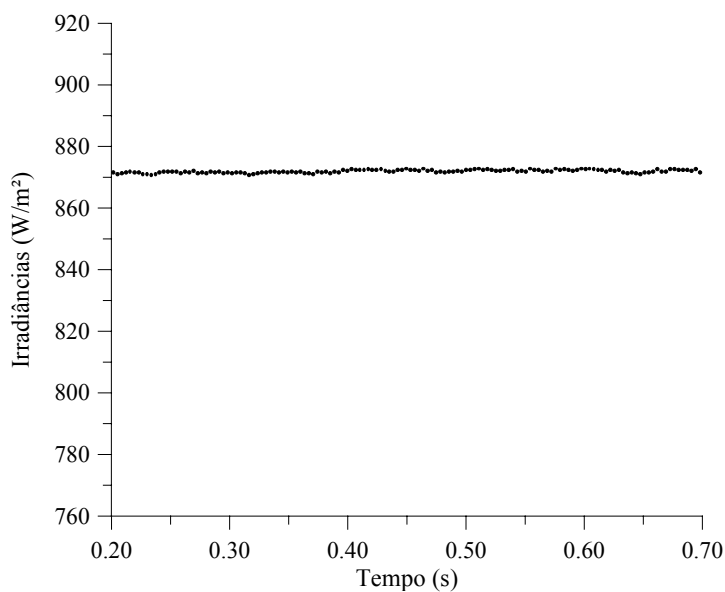


Figura 7. Ampliação da região 1 da Fig (6). Ampliação da região 2.

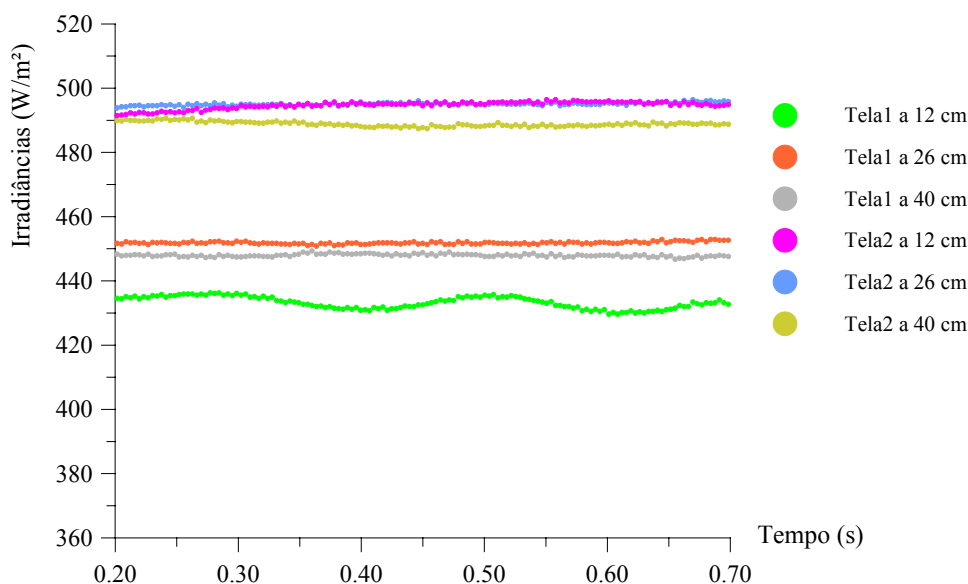


Figura 8. Ampliação da região 2 da Fig (6).

Pode-se apreciar nas figuras a existência de uma pequena instabilidade (ruído) tanto para os dados adquiridos com e sem tela. As amplitudes dos mesmos foram analisadas e obtiveram-se valores de menor magnitude que as incertezas associadas ao processo de medição. Na Tab. (2) apresentam-se as amplitudes dos ruídos em função do afastamento.

Tabela 2. Valores da análise do ruído na irradiância.

	Sem Tela	Tela 1			Tela 2		
Distância (cm)	-	12	26	40	12	26	40
$\sigma_{G\%}$	0,07	0,64	0,11	0,09	0,26	0,12	0,20

$\sigma_{G\%}$: relação percentual entre o desvio padrão e a média das medidas de irradiância (célula de referência 1).

5.1. Curvas características I-V

Com os dados adquiridos pelos multímetros foram representadas as curvas características I-V. Analisaram-se os pontos característicos da curva, para determinar os efeitos produzidos pela inserção da tela. Pode-se verificar que o perfil da curva não sofreu desvios na sua forma, ou seja, a inserção da tela não afeta o comportamento geral da curva.

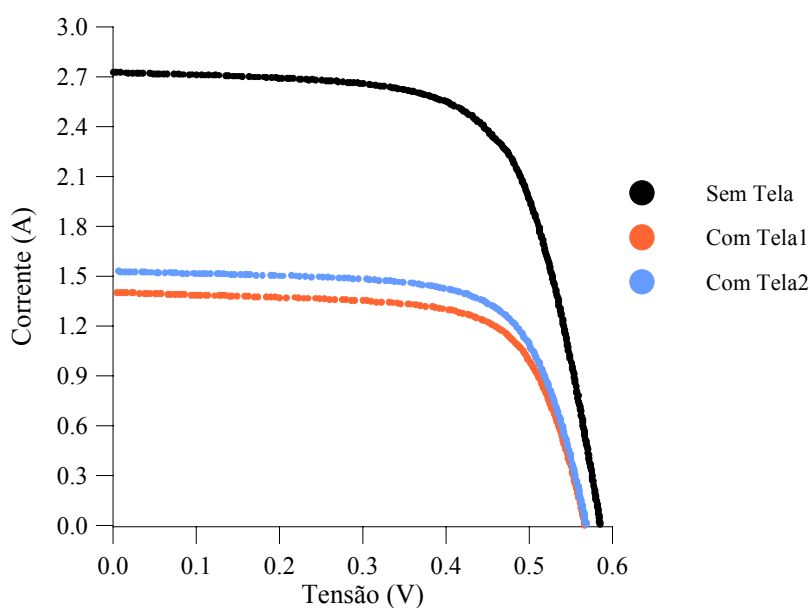


Figura 9. Curvas características I-V da célula sob teste sem e com as telas a 26 cm de distância.

Em toda a extensão da curva foi notada a existência de flutuações no valor da corrente (ruído) de pequena amplitude. Como este ruído, imperceptível nos gráficos da Fig. (9), foi observado tanto nos dados adquiridos com e sem tela, com magnitudes da mesma ordem, conclui-se que o mesmo não está relacionado com a presença da tela.

A uniformidade foi conferida ensaiando-se um módulo com e sem a influencia das telas, e verificou-se que a curva I-V apresenta um perfil sem alterações para as diferentes condições de ensaio.

Para a determinação da potência máxima gerada foi ajustado, aos pontos medidos na região do joelho da curva, um polinômio de terceiro grau.

A Fig. (9) mostra o comportamento de três curvas características I-V da célula testada sob diferentes condições de ensaio: sem tela e sombreada pelas telas 1 e 2 com um afastamento de 26 cm. As demais curvas medidas apresentaram comportamento semelhante.

5.2. Análise de incertezas

Além das incertezas associadas às medições propriamente ditas, decorrentes da instrumentação utilizada, foram levados em conta os efeitos que as incertezas relacionadas ao estabelecimento das condições de medida (irradiância e temperatura de célula) podem ocasionar sobre a grandeza em análise.

Na Tab. (3) apresenta-se um resumo com as grandezas medidas e suas respectivas incertezas para a determinação da curva I-V, calculadas segundo Holman (1971) a partir das informações contidas nos manuais dos instrumentos utilizados.

Tabela 3. Resultados das medições com suas respectivas incertezas.

	Medida Sem Tela	Medida com Tela 1	Medida com Tela 2
$G_{CR1}(W/m^2)$	872 ± 22	451 ± 21	495 ± 21
$G_{CR2}(W/m^2)$	873 ± 24	867 ± 24	864 ± 24
$I_{SC}(A)$	$2,724 \pm 0,014$	$1,396 \pm 0,008$	$1,537 \pm 0,008$
$V_{OC}(V)$	$0,585 \pm 0,002$	$0,567 \pm 0,003$	$0,569 \pm 0,003$
$P_M(W)$	$1,072 \pm 0,009$	$0,555 \pm 0,005$	$0,610 \pm 0,005$

Simbologia empregada:

G_{CR1} : Irradiância média medida com a célula de referência 1

G_{CR2} : Irradiância média medida com a célula de referência 2

I_{SC} : Corrente de curto circuito

P_M : Potência máxima

V_{OC} : Tensão de circuito aberto

6. Conclusão

A partir de uma análise gráfica e numérica dos dados obtidos pode-se concluir que com a inserção da tela consegue-se uma redução de irradiância proporcional ao grau de sombreamento sem alterar o perfil da curva característica I-V.

Verifica-se que é necessário um afastamento mínimo entre a célula e a tela para garantia de maior uniformidade da distribuição da irradiância. Conclui-se que as melhores distâncias para os ensaios estão próximas aos 30 cm.

Através das medidas realizadas, constatou-se que a Tela 1 apresenta uma atenuação de radiação de 50% e a Tela 2 uma atenuação de 44%.

A partir dos resultados obtidos pode-se afirmar que, em termos de estabilidade temporal e uniformidade, é possível a utilização de telas de sombreamento como atenuadores de radiação solar ainda mantendo qualidade equivalente à de um simulador solar classe A.

Como prosseguimento deste trabalho deverão ser testadas telas com outros fatores de atenuação, bem como feita uma análise mais detalhada da distribuição espacial da irradiância.

7. Referências

- American Society for Testing and Materials, 1985. "E 1036 Standard Methods of Testing Electrical Performance of Nonconcentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays Using Reference Cells", EEUU.
- American Society for Testing and Materials, 1987. "E 891 Standard Tables for Terrestrial Direct Normal Solar Spectral Irradiance for Air Mass 1.5", EEUU.
- American Society for Testing and Materials, 1987. "E 892 Standard Tables for Terrestrial Solar Spectral Irradiance at Air Mass 1.5 for a 37° Tilted Surface", EEUU.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1988. "NBR10899/TB328 Conversão fotovoltaica de energia solar", Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991. "NBR11879/EB2179 Dispositivos fotovoltaicos - Simulador solar - Requisitos de desempenho", Rio de Janeiro.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991. “NBR12136/MB3477 Módulos fotovoltaicos - Determinação de características fotoelétricas”, Rio de Janeiro.
- Holman, J.P., 1971. “Experimental Methods for Engineering”, Ed. McGraw-Hill, New York, 7ª ed.
- Iqbal, M., 1983. “Introduction to Solar Radiation”, Ed Academic Press, Vancouver, Canadá.
- Prieb, C. W. M., 2002. “Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos”. Dissertação de Mestrado em Engenharia – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre.

8. Nota de autoria

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

EFFECTS OF IRRADIANCE ATTENUATORS ON THE TESTING OF PHOTOVOLTAIC DEVICES

***Abstract.** The purpose of this work is to validate the use of black polyethylene shading nettings as irradiance attenuators on the testing of photovoltaic devices using the Sun as light source. An experiment was carried out in order to check if any potential spatial non-uniformities and temporal instability on the solar irradiance caused by the netting could distort I-V curves of photovoltaic devices. I-V curves of an encapsulated photovoltaic cell were traced under several conditions, under direct sunlight and covered by the net at different distances. Two types of shading nets were tested. The nets were stretched on wooden frames and were large enough to be considered infinite from the photovoltaic cell view. The solar irradiance on the test plane was sensed by a reference photovoltaic cell attached to the frame of the cell under test. An external reference cell was used to ensure there was no fluctuation of the solar irradiance during the test. The data of voltage, current and irradiances were obtained with an automated data acquisition system. The results showed that the tested shading nets can be successfully used as irradiance attenuators for the testing of photovoltaic devices. The quality of the dampened light excels the requirements of class A solar simulators.*

***Keywords.** photovoltaic, solar radiation, solar energy.*