

ESTUDO DE EFEITOS METAESTÁVEIS EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CI(G)S POR EXPOSIÇÃO À LUZ SOLAR

Alexandre José Bühler – ajbuhler@gmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS

Fabiano Perin Gasparin – gasparin.fabiano@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS – Laboratório de Energia Solar

Giuliano Arns Rampinelli - giulianorampinelli@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC - Departamento de Engenharia de Energia

Arno Krenzinger - arno.krenzinger@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS – Laboratório de Energia Solar

Resumo. Módulos fotovoltaicos de filmes finos tem aumentado gradativamente a sua participação no mercado fotovoltaico. Dentre as diversas tecnologias hoje disponíveis estão os módulos baseados em disseleneto de cobre e índio (CIS) e disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS). Essas tecnologias apresentam hoje a maior eficiência de conversão entre os filmes finos e já representam uma interessante alternativa de geração fotovoltaica. Entretanto, módulos baseados nesses materiais apresentam alguns efeitos peculiares, entre os quais, a variação da eficiência de conversão devido à exposição do módulo à radiação luminosa. Esse efeito metaestável causa um aumento na potência do módulo cuja magnitude varia muito dependendo da composição específica dos materiais usados na fabricação das células e do processo de fabricação empregado. O tempo necessário para um módulo atingir o máximo de sua eficiência de conversão, bem como o tempo de relaxamento (perda do efeito) também variam dependendo dos mesmos fatores que o incremento na potência. Este trabalho apresenta uma breve discussão sobre o efeito metaestável de incremento na eficiência de conversão em módulos CIGS e uma proposta de metodologia para estudar esse efeito em módulos expostos à radiação solar natural. Alguns resultados preliminares realizados em um módulo comercial disponível no mercado brasileiro é também apresentado.

Palavras-chave: Energia Solar fotovoltaica, filmes finos, CI(G)S, eficiência de conversão.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente existem muitas tecnologias fotovoltaicas disponíveis no mercado e entre elas as que representam a chamada segunda geração fotovoltaica. Esta geração é representada por células de filmes finos, que recebem este nome por empregarem da ordem de cem vezes menos material do que o gasto na fabricação de células de silício cristalino. Os materiais utilizados na fabricação de células fotovoltaicas, CIS (disseleneto de cobre-índio) e CIGS (disseleneto cobre-índio-gálio), correspondem a uma forma policristalina de filmes finos cujas propriedades vêm sendo estudadas a muito tempo. Uma propriedade importante do CIGS é que este possui um dos coeficientes de absorção mais altos conhecidos, o que permite absorver cerca de 90 % dos fótons incidentes com energia superior a 1 eV para uma espessura de 1 μm a 3 μm .

As eficiências de módulos CIS ou CIGS estão entre as mais altas dentre os filmes finos. A eficiência máxima para uma célula CIGS é hoje de 19,6% creditada pelos laboratórios da NREL, enquanto para sub módulo este valor é 17,4% pertencente a empresa Solibrio (Green et al., 2013). Já no caso de módulos CIGS comerciais o recorde de eficiência atualmente é de 15,7% e pertence à empresa Miasolé (Green et al., 2013). Eficiências da ordem de 12% são facilmente encontradas no mercado fotovoltaico para módulos CI(G)S.

Apesar das diversas vantagens que os módulos CIS e CIGS possuem, o que inclui a perspectiva de redução de preços em um futuro próximo, existem alguns efeitos metaestáveis que ocorrem com essa tecnologia e que não devem ser negligenciados no momento da caracterização de módulos ou células baseados nesses filmes finos. Existe um efeito que é induzido pela exposição do módulo à luz e causa um aumento no fator de forma (FF), bem como em outros parâmetros do módulo. O fator de forma é um indicativo importante da qualidade das propriedades elétricas do módulo. Quanto maior o valor de FF mais retangular é a curva e, portanto, melhor serão as características elétricas do dispositivo. O fator de forma é definido pela Eq. (1).

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

onde V_M e I_M correspondem respectivamente a tensão e a corrente elétrica que o dispositivo fornece no ponto de máxima potência, V_{OC} é a tensão de circuito aberto e I_{SC} é a corrente de curto-circuito.

Diversos autores tem pesquisado esse efeito, entre os quais se pode citar Tetsuyuki et al. (2013), Muñoz-García et al. (2012), Virtuani et al. (2010), Ishii et al. (2013) e Kenny et al. (2012). O que se tem verificado é que o ganho que se obtém em FF, máxima potência (P_M) e V_{OC} depende muito da composição exata do filme fino e do processo de fabricação envolvido. Isso faz que com que cada novo modelo de módulo deva ser ensaiado previamente para se verificar as condições necessárias nas quais o módulo deve ser submetido antes de um ensaio de caracterização. Este processo que antecede o ensaio de caracterização, chamado de pré-condicionamento do módulo, é muito importante quando existem efeitos metaestáveis na tecnologia a ser ensaiada. Um exemplo simples dessa importância resulta no fato de que se um módulo CI(G)S, por exemplo, for condicionado no escuro e medido sem uma pré-exposição à radiação (solar ou artificial) será creditado a este módulo um valor de eficiência de conversão inferior ao que ele efetivamente terá em operação. Dessa forma, o montante de energia gerado ao longo de um certo tempo para uma instalação utilizando esses módulos seria sub estimado.

Em um trabalho recentemente publicado na 28ª Conferência Europeia de Energia Solar Fotovoltaica (Eeles et al., 2013) um grupo de módulos CIGS foi ensaiado na tentativa de medir o tempo necessário para esses módulos atingirem o máximo de incremento no fator de forma (tempo de pico) e o tempo necessário para a perda desse efeito (tempo de relaxamento). Neste trabalho consta uma explicação sobre a origem deste fenômeno e uma proposta de metodologia mais eficiente para pré-condicionamento de módulos que apresentem efeitos metaestáveis antes de ensaios de caracterização elétrica. Algumas notas importantes sobre esse trabalho serão tratadas mais detalhadamente a seguir.

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma discussão sobre os efeitos metastáveis que ocorrem em módulos CIS e CIGS por exposição à luz e propor uma metodologia para estudar e quantificar esse efeito em módulos expostos à luz solar. Esta metodologia foi aplicada em um módulo CIGS e os resultados são aqui apresentados.

2. EFEITOS METASTÁVEIS EM MÓDULOS DE FILMES FINOS

Já é conhecido há algum tempo que determinadas tecnologias de filmes finos apresentam um fenômeno de aumento na eficiência de conversão, que perdura por um certo tempo, após serem expostos à irradiação. Este efeito ocorre notadamente em módulos de tecnologias CIS, CIGS e em menor intensidade em módulos de CdTe. De forma simplificada pode-se definir este efeito metaestável como um aumento na eficiência de conversão do dispositivo fotovoltaico, aumento este que ocorre segundo um comportamento logarítmico e que atinge um máximo após um certo tempo de exposição. Além disso, os efeitos acumulados pela exposição à irradiação desaparecem após um certo tempo com o módulo no escuro, decaindo de forma exponencial. O aumento na eficiência de conversão e o tempo necessário para se atingir este máximo variam muito (de alguns minutos até algumas horas) dependendo da exata composição do filme fino e da tecnologia de fabricação empregada. Isto é importante, pois ressalta que mesmo módulos de mesma tecnologia, mas provenientes de diferentes fabricantes podem apresentar efeitos metaestáveis com diferentes intensidades e diferentes tempos de pico e de relaxamento.

As causas da metaestabilidade em módulos CIGS são comentadas e estudadas em detalhes em um trabalho publicado por Lany e Zunger, (2006). Não é intuito deste trabalho descrever detalhadamente as causas físicas deste fenômeno, entretanto podem-se fazer algumas considerações. Uma das causas da metaestabilidade tem ligação direta com a relação entre as concentrações entre In e Ga (relação exponencial) e com a densidade de elétrons livres (relação linear) na região de depleção da junção PN. Desta forma, com o módulo exposto à irradiação, o número de elétrons livres aumenta drasticamente, dando origem ao fenômeno de metaestabilidade.

Como a densidade de elétrons desencadeia o efeito de metaestabilidade, Eeles et al. (2013) propõem uma forma alternativa de induzir a metaestabilidade injetando corrente elétrica no módulo. Esta alternativa apresenta algumas vantagens importantes em relação à exposição do módulo à radiação natural, tais quais: menor aquecimento do módulo durante a exposição e não variação da condição de exposição do módulo (durante exposições da ordem de vários minutos a radiação solar sofre uma variação que precisa ser corrigida, tal como será posteriormente explicado). Ainda, se existir a possibilidade de utilizar uma fonte artificial de radiação, o aquecimento do módulo será maior do que no caso de injeção de corrente. Isso porque para um módulo de 140 Wp e 1m² de área exposto à uma irradiância de 1000 W/m², por exemplo, chegam a este módulo 1000W, dos quais descontando a potência de saída e algumas perdas por reflexão o resto é convertido em calor (uma aproximação simples sugere que algo em torno de 750 W sejam convertidos em calor pelo módulo). Se neste mesmo módulo for injetada corrente elétrica para induzir efeitos metaestáveis, cerca de 100 W já seriam suficientes para desencadear o efeito (segundo Eeles et al., 2013, polarizando o módulo em 90% de V_{OC} já se induz o efeito de metaestabilidade). Desprezando todas as perdas por convecção e radiação, seriam esses 100 W que teriam que ser convertidos em calor no módulo ensaiado *indoor*. Mesmo desconsiderando que as perdas de calor por convecção e radiação seriam maiores no módulo outdoor, ainda assim a quantidade de potência absorvida seria consideravelmente superior se comparada com o módulo *indoor*, o que garante que sua temperatura atinja um valor mais elevado.

A técnica de indução de metaestabilidade por injeção de corrente tem sido testada e tem apresentado resultados satisfatórios, entretanto ainda há necessidade de mais comparações com a indução por iluminação para que esta técnica

possa ser utilizada com um satisfatório grau de confiabilidade em substituição à primeira. Contudo, cabe ressaltar alguns resultados obtidos por Eeles et al., tais quais: taxa logarítmica de aumento na potência e exponencial para o tempo de relaxamento para todos os módulos ensaiados (cinco diferentes módulos CIGS) e grande variação entre os aumentos encontrados, de menos de 1% a mais de 5%.

Neste trabalho optou-se por expor o módulo à radiação natural corrigindo matematicamente às implicações que as variações de temperatura e irradiância ao longo da exposição têm na curva I-V do módulo.

3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Para a elaboração deste trabalho foi desenvolvida uma metodologia experimental com o intuito de verificar qualitativamente e quantitativamente efeitos metaestáveis em módulos CI(G)S utilizando iluminação natural. Basicamente a metodologia consiste em expor o módulo sob radiação solar, com valor superior a 800 W/m² de irradiância e medir curvas I-V em intervalos de tempo periódicos. Após um tempo de exposição suficientemente grande para se atingir o pico do efeito metaestável o módulo é coberto por material opaco e uma curva I-V medida em intervalos de tempo determinados (somente na duração da medida da curva o módulo é exposto novamente à radiação solar).

Os ensaios dos módulos foram realizados junto às instalações do laboratório de energia solar da UFRGS. A medida das curvas foi realizada utilizando um sistema de aquisição desenvolvido exclusivamente para este fim. Neste sistema as medidas de tensão e corrente são feitas simultaneamente e de forma sincronizada com uma rampa de tensão. A corrente é medida por meio de um resistor tipo shunt (300 mV / 10 A) e classe de precisão 0,5%. Para a medida de tensão e corrente são utilizados multímetros da marca Agilent, modelo 3458. Estes multímetros possuem resolução máxima de 8 ½ dígitos e memória interna para até 10240 medidas. Na escala de 100 V e 6 ½ dígitos, que é o padrão utilizado no sistema, os multímetros apresentam resolução de 100 µV para a tensão. A resolução de medida da corrente é de 30 µA. As medidas de irradiância e temperatura são feitas através de multímetros da marca Agilent, modelo 34410 A. A resolução máxima deste equipamento é de 6 ½ dígitos. O tempo de integração mínimo para a medida de tensão DC é de 100 µs. A memória interna tem capacidade de armazenar até 50000 leituras. Uma descrição completa deste sistema de aquisição pode ser encontrada em Gasparin (2009).

Uma vez que a exposição do módulo para verificar e quantificar mudanças nos parâmetros elétricos do módulo devido a efeitos metaestáveis tem duração da ordem de horas, a influência da variação da irradiância incidente e da temperatura do módulo tiveram de ser corrigidas de forma adequada. Para que algum efeito metaestável pudesse ser verificado todas as curvas I-V foram transladadas para a condição de 1000 W/m² e temperatura média atingida pelo módulo durante o ensaio (entre 45 °C e 55 °C). Foi utilizado o método de translação geométrica, descrito em Bühler e Krenzinger (2009).

A metodologia para ensaio pode ser descrita pelas etapas que seguem:

- a) Posiciona-se o módulo a ser ensaiado (em circuito aberto), após ter permanecido por um tempo de no mínimo 170 horas sob ausência de iluminação, com sua superfície perpendicular aos raios solares. Nesta etapa o módulo ainda se encontra com uma cobertura opaca protegendo da área de captação da irradiação;
- b) Retira-se a cobertura opaca e inicia-se a medida de curvas I-V em intervalos de tempo regulares. Durante os primeiros minutos de exposição, a temperatura do módulo irá aumentar consideravelmente, porém de posse dos coeficientes térmicos do módulo a influência da variação da temperatura é posteriormente eliminada;
- c) Após um período de no mínimo três horas, inicia-se a etapa de medidas para determinar o tempo de relaxamento. O módulo é então coberto por um material opaco por um tempo determinado (dois minutos, por exemplo).
- d) Retira-se a cobertura do módulo, realiza-se a medida de uma curva I-V e o módulo volta a ser coberto. Ressalta-se que o tempo em que o módulo permanece iluminado nesta etapa é o mínimo possível para se realizar a medida, que em média é da ordem de 10 segundos.
- e) A etapa d) é repetida até que o tempo em que o módulo tenha sido mantido protegido da irradiação acumule ao menos uma hora.
- f) Após finalizado o ensaio, todas as curvas I-V são pós-processadas de forma que estas sejam transladadas para a mesma condição de irradiância e temperatura e de forma que seus parâmetros elétricos, tais quais máxima potência (P_M) e tensão de circuito aberto (V_{OC}) sejam determinados com um alto grau de precisão. O processo de pós-processamento é descrito em Bühler et al. (2012);
- g) Por fim os parâmetros elétricos do módulo são analisados de forma a se verificar se estes sofreram uma variação correlacionada a sua exposição à radiação solar. Da mesma forma é verificado se existe correlação entre uma possível variação nos parâmetros elétricos do módulo e seu tempo sem iluminação.

Tendo em conta que a célula de referência utilizada para medir a irradiância incidente é de silício monocristalino, tecnologia diferente dos módulos a serem ensaiados, estes não possuem a mesma curva de resposta espectral. Dessa forma, havendo uma mudança significativa da distribuição espectral da irradiância solar durante o ensaio, esta poderia influenciar os resultados. Buscando minimizar esse problema, os ensaios foram realizados somente em horários próximos ao meio-dia solar e na primavera, estação em que as mudanças de espectro não são tão drásticas em um

intervalo de tempo próximo do meio-dia solar. Uma discussão sobre o impacto do descasamento espectral em ensaios de caracterização de módulos fotovoltaicos pode ser encontrado em Gasparin et al. (2012).

Quando o módulo está sob exposição à radiação solar, este atinge o pico do efeito metaestável em uma temperatura muito acima da temperatura padrão de caracterização, que é de 25 °C. Temperaturas da ordem de 50 °C são facilmente atingidas, mesmo para temperaturas ambientes abaixo de 20 °C. Como o módulo precisa ser caracterizado na temperatura padrão, ou este é medido enquanto está sob o pico do efeito metaestável e uma correção com coeficientes térmicos é posteriormente aplicada ao ensaio, ou o módulo é resfriado para 25 °C. Para resfriar o módulo sem que este tenha que ser coberto por um material opaco, e dessa forma perca gradualmente o efeito metaestável, Muñoz-García et al. (2012) elaboraram um dispositivo capaz de forçar uma passagem de água fria por traz do módulo enquanto o mesmo é exposto à radiação solar, conseguindo dessa forma manter a sua temperatura controlada em 25 °C. A metodologia que os autores deste trabalho propõem é que tão logo o módulo tenha atingido o pico de incremento de potência este seja coberto com material opaco até que sua temperatura atinja 25 °C e então a curva I-V seja medida. Conhecendo o pico de incremento de potência, a taxa de relaxamento deste efeito e o tempo no qual o módulo ficou coberto é possível obter um resultado para caracterização elétrica bastante confiável e com resultado muito próximo do que o módulo irá fornecer quando em operação.

4. RESULTADOS OBTIDOS

A metodologia proposta foi aplicada em um módulo CIGS comercialmente disponível no mercado brasileiro. Ressalta-se que o objetivo principal destes ensaios é determinar o tempo necessário para se atingir o máximo de potência (e conseqüente eficiência de conversão) e o incremento de potência causado pela exposição à irradiação natural, bem como a taxa de relaxamento. Além disso foi observado também a variação no fator de forma e tensão de circuito aberto desse módulo. A Fig. 1, Fig. 2 e Fig. 3 apresentam, respectivamente, a variação do fator de forma, máxima potência e tensão de circuito aberto para um módulo CIGS cujas características elétricas são apresentadas na Tab. 1. Neste ensaio, como forma de verificar a influência do efeito metaestável acionado pela exposição à luz solar, o módulo foi exposto por uma hora e vinte minutos, coberto por material opaco por uma hora e dez minutos e novamente exposto à luz por cerca de uma hora.

Tabela 1 – Parâmetros elétricos do módulo CIGS ensaiado.

V_{OC}	110 V
I_{SC}	2,1 A
P_M	150 W
V_M	79 V
Coefficiente térmico de V_{OC}	-0,3 % °C ⁻¹
Coefficiente térmico de I_{SC}	0,01 % °C ⁻¹
Coefficiente térmico de P_M	-0,31 % °C ⁻¹

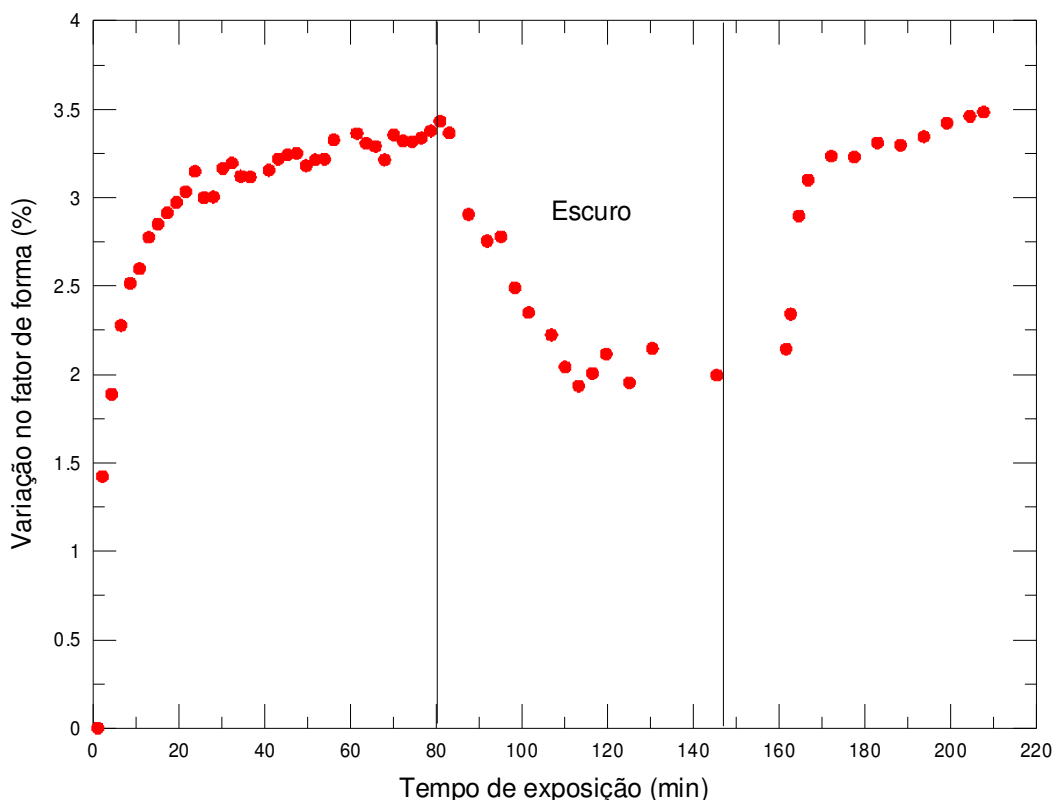


Figura 1 – Variação do fator de forma do módulo CIGS ao longo da exposição à luz solar e no escuro.

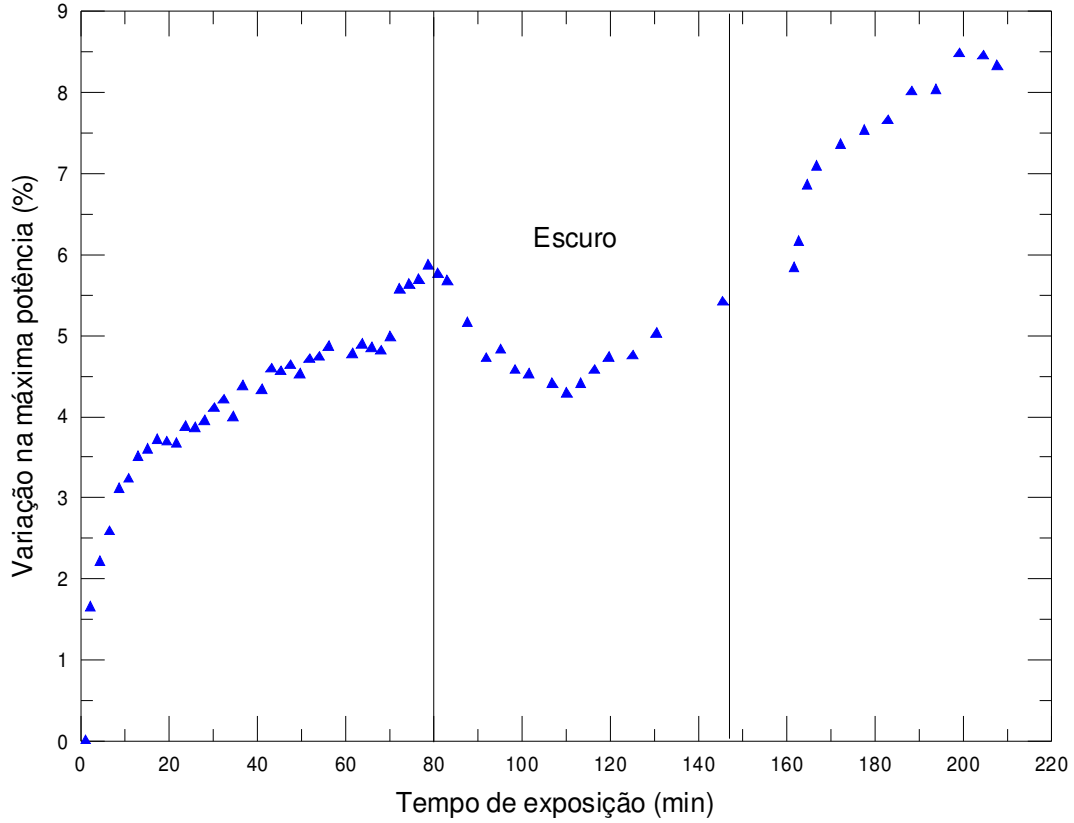


Figura 2 – Variação da máxima potência do módulo CIGS ao longo da exposição à luz solar e no escuro.

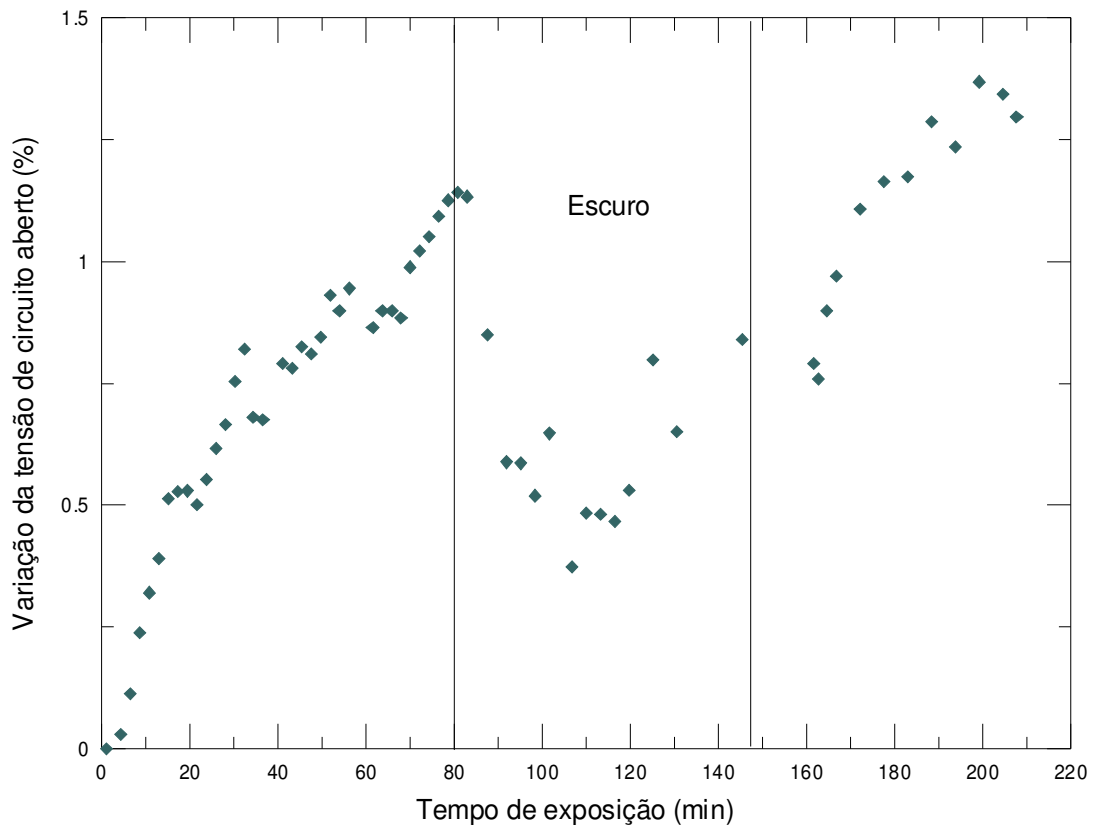


Figura 3 – Variação da tensão de circuito aberto do módulo CIGS ao longo da exposição à luz solar e no escuro.

A análise da Fig. 1 mostra a evidente influência do efeito metaestável de aumento em FF causado pela iluminação natural do módulo. Quando o mesmo foi coberto por material opaco verifica-se uma clara diminuição em FF. Este mesmo parâmetro torna a aumentar quando o módulo é novamente exposto à luz solar. A variação da máxima potência também apresentou uma evidente correlação com o tempo de exposição do módulo à luz solar. Quando o módulo foi coberto houve uma queda da potência nos primeiros trinta minutos de exposição. Após este tempo, nos restantes trinta minutos em que o módulo esteve coberto, a potência voltou a apresentar incremento contrariando o que seria esperado pelo efeito metaestável. Isto pode ter ocorrido devido à utilização de coeficientes térmicos imprecisos, usados para corrigir o efeito da temperatura. Ressalta-se que para este trabalho foram utilizados os coeficientes térmicos informados pelo fabricante. Embora tenha ocorrido esse aumento não esperado na potência enquanto o módulo era mantido coberto, nota-se claramente uma mudança brusca de comportamento quando o módulo é novamente exposto a luz solar. Neste ensaio foi encontrado um aumento de aproximadamente 8% na potência do módulo CIGS. A variação da tensão de circuito aberto não foi muito acentuada, embora tenha ocorrido um aumento de V_{OC} com o tempo de exposição, o que está de acordo com a literatura.

5. CONCLUSÕES

Foi realizada uma discussão sobre um efeito de metaestabilidade que surge em algumas tecnologias de módulos de filmes finos quando expostos a irradiação natural ou artificial. Uma proposta de metodologia para verificação e quantificação deste fenômeno usando iluminação natural foi também apresentada e discutida. Esta metodologia foi aplicada em um módulo CIGS disponível no mercado brasileiro onde foi verificado um aumento de até 8% na potência do módulo. Esse incremento evidencia a importância da análise deste fenômeno de metaestabilidade, principalmente por sua forte influência nos resultados de ensaios de caracterização elétrica de módulos fotovoltaicos.

Neste trabalho foi ensaiado apenas um módulo como tentativa de verificar a funcionalidade da metodologia proposta para estudo do fenômeno de metaestabilidade em módulos de filmes finos. No prosseguimento deste estudo mais módulos devem ser ensaiados e alguns testes devem ser efetuados, tais quais: variação da condição do módulo durante as medidas de curvas I-V (comparação entre manter o módulo em V_{OC} e em V_M); polarização do módulo no escuro com injeção de corrente e comparação com resultados obtidos com o módulo exposto à luz solar.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao Instituto de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia vinculado ao projeto INCT/MCT/CNPq pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Bühler, A. J. e Krenzinger, A., 2008. Comparação entre diferentes métodos de translação de curvas I-V de módulos fotovoltaicos, In: Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferencia Latino Americana de la ISES, 2008, Florianópolis. Anais do II CBENS & III ISES-CLA. Recife: ABENS.
- Bühler, A. J Cervantes, G. e Krenzinger, A., 2012. DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA PÓS-PROCESSAMENTO DE CURVAS I-V DE DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES, São Paulo.
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W. and Dunlop, E. D., 2013. Solar cell efficiency tables (version 42). Prog. Photovolt: Res. Appl., 21: 827–837. doi: 10.1002/pip.2404.
- Lany, S. e Zunger, A., 2006. Light- and bias-induced metastabilities in Cu(In,Ga) Se 2 based solar cells caused by the ($V_{Se} - V_{Cu}$) vacancy complex. Journal of Applied Physics, 100, 113725. doi: 10.1063/1.2388256.
- Kobayashi, T. Yamaguchi, H. e Nakada, T., 2013. Effects of combined heat and light soaking on device performance of Cu(In,Ga)Se2 solar cells with ZnS(O,OH) buffer layer, Prog. Photovolt: Res. Appl. 2013; DOI: 10.1002/pip.2339.
- Muñoz-García, M. A., Marin, O., Alonso-García, M. C. e Chenlo, F. (2012) Characterization of thin film PV modules under standard test conditions: Results of indoor and outdoor measurements and the effects of sunlight exposure. Solar Energy, 86, 3049-3056.
- Ishii, T., Otani, K., Takashima, T. e Ikeda, K. 2013. Change in I–V characteristics of thin-film photovoltaic (PV) modules induced by light soaking and thermal annealing effects. Prog. Photovolt: Res. Appl. doi: 10.1002/pip.2346.
- Virtuani, A., Muellejans, H. e Dunlop, E. D. (2011). Comparison of indoor and outdoor performance measurements of recent commercially available solar modules, Prog. Photovolt: Res. Appl. 2011; 19:11–20.
- Kenny, R. P., Chatzipanagi, A. I. and Sample, T. 2012. Preconditioning of thin-film PV module technologies for calibration. Prog. Photovolt: Res. Appl. doi: 10.1002/pip.2234.
- Eeles, A. E., Betts, T. R. e Gottschalg, R., 2013. Preconditioning effects on CIGS solar cells and modules based on metastabilities caused by the Se-Cu di-vacancy complex. 28th european photovoltaic solar energy conference.

- Gasparin, F. P., 2009. Desenvolvimento de um traçador de curvas características de Módulos Fotovoltaicos, Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- Gasparin, F. P; Bühler, A. J. e Krenzinger; A., 2012. ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO FATOR DE DESCASAMENTO ESPECTRAL NA CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES, São Paulo.

STUDY OF METASTABLE EFFECTS PHOTOVOLTAIC CI(G)S MODULES BY EXPOSITION TO SUNLIGHT

Abstract. Photovoltaic (PV) modules based on thin films have gradually increased their participation in the world market share. Among the several technologies today available in the market there are the modules based on copper indium diselenide (CIS) and copper indium gallium diselenide (CIGS). These technologies have the highest efficiency among the commercial thin films PV modules and already consist in an interesting alternative for PV generation. However modules based on such technologies have some peculiarly effects, among those the variation of the conversion efficiency due to the light exposition. Such metastable effect causes an increasing in the module's output power with its magnitude varying widely according to the composition of the thin film and the employed manufacturing technique. The amount of time necessary to a module reach the maximum metastable effect as well as the relaxation time (loss of the effect) also vary widely depending on the same factors of the power's increasing. This work presents a brief discussion about the metastable effect of efficiency increasing in CIGS modules and a propose of methodology to study such effect in modules light soaked with natural light. It is also presented some preliminary results for one CIGS module available in the Brazilian market.

Key words: Photovoltaic Solar Energy, thin film, CIGS, conversion efficiency