

# SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS CONSIDERANDO A VARIAÇÃO ESPECTRAL

**Guilherme Marques Neves** – guilherme.neves@las.inpe.br

**Waldeir Amaral Vilela** – waldeir@las.inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Laboratório Associado de Sensores e Materiais

**Enio Bueno Pereira** – enio.pereira@inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis e Energia

**Luiz Angelo Berni** – berni@las.inpe.br

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Laboratório Associado de Sensores e Materiais

**Resumo.** Neste trabalho é apresentado um sistema de avaliação da performance de módulos fotovoltaicos composto por duas unidades de coleta de dados: o primeiro é utilizado para aquisição dos espectros da radiação solar na faixa entre 350 e 950 nm e o segundo para o monitoramento dos parâmetros de módulos fotovoltaicos constituídos por células fotovoltaicas baseada em várias tecnologias. O sistema foi montado no campus do INPE em Cachoeira Paulista, SP, junto a uma estação de coleta de dados radiométricos e meteorológicos da rede SONDA que fornece dados suplementares. Esse trabalho tem por objetivo apresentar resultados prévios de dados espectrais e dados referentes à módulos de Silício monocristalino e Arseneto de Gálio, discutir algumas variações espectrais da radiação solar e avaliar a influência da Irradiância e da temperatura nos módulos citados.

**Palavras-chave:** Módulos Fotovoltaicos, Radiação Solar, Espectro Solar

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma grande extensão territorial com alto índice de incidência de radiação solar, fatores que propiciam a instalação de plantas fotovoltaicas. A irradiação solar global incidente em qualquer região do país fica entre 1500 e 2500 kWh/m<sup>2</sup>, valores maiores que os de muitos países da União Européia, como a Alemanha (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>), França (900-1650 kWh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 kWh/m<sup>2</sup>), que utilizam dos recursos solares para produção de energia elétrica (Pereira, et al., 2006). Em 2014, o Ministério de minas e energia estabeleceu as instruções para qualificação de projetos fotovoltaicos com vista à participação nos leilões de produção de eletricidade utilizando tecnologia solar. Os últimos dois leilões, de 2014 e 2015, acrescentaram mais de 2,1 GWp de energia elétrica fotovoltaica para a matriz de energia elétrica nacional. Apesar disso, esta forma de produção ainda não possui participação significativa na matriz energética nacional devido à fatores como o baixo custo da produção hidrelétrica, questões sociais e culturais, pouco incentivo governamental e à falta de conhecimento cientificamente embasada sobre esse recurso energético (Vilela, 2010). Apesar disso, nos últimos anos o governo brasileiro vem desenvolvendo projetos pilotos na área de energias alternativas que visam reduzir a dependência das usinas movidas a água e das termelétricas principalmente devido a recente crise hídrica. Os lagos das Usinas de Balbina (Amazonas) e de Sobradinho (Bahia), por exemplo, foram os escolhidos para os primeiros testes com painéis solares fotovoltaicos flutuantes (Revista do Senado EM DISCUSSÃO!, 2015).

Projetos que visem instalar uma planta fotovoltaica para o aproveitamento de recursos solares no país devem considerar vários fatores além da disponibilidade do recurso solar, como o potencial fotovoltaico, a orientação dos módulos, disponibilidade de área, demanda a ser atendida, etc. (Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES CEPTEL - DTE - CRESESB, 2014). Para que o dimensionamento do sistema tenha sucesso e consiga atender as necessidades definidas pela demanda, a determinação correta do desempenho dos módulos fotovoltaicos torna-se muito importante.

Módulos fotovoltaicos são classificados e comercializados de acordo com seus desempenhos medidos em laboratório sob as condições do STC - *Standard Test Conditions* (mostrados na Tab. 1). Ela é muito útil para comparar o desempenho dos módulos sob condições predeterminadas, aonde através da utilização de parâmetros como os coeficientes de variação da corrente de curto-circuito e da tensão de circuito aberto com a temperatura, a curva I x V (Corrente por Tensão) pode ser extrapolada para outro conjunto de condições utilizando a norma ASTM E1036 – 15<sup>1</sup> (Osterwald, et al., 1999). Porém, a classificação realizada no STC não é muito útil para avaliar como os módulos irão se comportar em campo por não ser representativa das condições reais para várias regiões do mundo. Em laboratório os testes são padronizados e controlados, enquanto que em campo uma série de processos ambientais e interações da radiação solar com a atmosfera e com os módulos acabam influenciando em sua performance, de modo que o desempenho encontrado em campo poderá ser diferente ao que ocorre sob as condições padrões do STC (Ishii, et al., 2010).

---

<sup>1</sup> Norma ASTM E1036-15 – “*Standard Test Methods for Electrical Performance of Nonconcentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays Using Reference Cells*”. (ASTM, 2015)

Tab. 1 – Condições do Standard Test Conditions (Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES CEPEL - DTE - CRESESB , 2014)

Irradiância	Espectro da Radiação Solar	Temperatura do módulo	Ângulo de Incidência da Radiação
1000 W/m <sup>2</sup>	AM 1.5G	25 °C	90 °

Os módulos fotovoltaicos são vendidos considerando seu desempenho avaliado sob as condições padrões citadas, porém é a energia gerada por eles sob condições reais de operação que realmente importa para um bom retorno ao investimento (Dirnberger, et al., 2015). Com a finalidade de se obter um melhor entendimento do desempenho em campo dos módulos solares e, por consequência, estudos de viabilidade mais próximos ao real, muitas pesquisas vêm sendo realizadas ao redor do mundo (Dirnberger, et al., 2015; Ishii, et al., 2010). Elas têm contribuído para uma melhor compreensão da influência dos fatores ambientais na produção de energia à partir de recursos solares e na determinação dos parâmetros que mais afetam a performance de módulos fotovoltaicos, como por exemplo o tipo de semicondutor utilizado, a irradiância solar, a temperatura de operação, ângulo de incidência da radiação e o espectro solar. A influência da variação do espectro solar em campo ainda não é considerada pelos fornecedores de painéis solares na avaliação da eficiência de um sistema fotovoltaico.

As pesquisas mais recentes vêm demonstrando que a influência das variações espectrais podem ser significativas dependendo da resposta espectral da célula solar utilizada. Conforme a tecnologia fotovoltaica adotada, observa-se que sua performance varia com a localização em termos de latitude e longitude, nível de poluição, queimadas e outras atividades humanas, levando a crer que o desempenho dos módulos pode variar de uma região para outra (Dirnberger, et al., 2015). Isso pode levar a situações em que painéis com tecnologias mais baratas venham a apresentar desempenho igual ou até superior a sistemas de custos mais elevados.

Considerando a possibilidade de estabelecer novos parâmetros que possam contribuir para a escolha das tecnologias fotovoltaicas mais adequadas para cada região brasileira, o LAS (Laboratório Associado de Sensores e Materiais) e o CCST (Centro de Ciências do Sistema Terrestre) do INPE estão desenvolvendo um projeto que visa coletar dados espectrais da radiação solar em conjunto com dados de corrente de curto-circuito e temperatura de módulos fotovoltaicos de diferentes tecnologias e dados ambientais de Irradiância. O objetivo do projeto é avaliar o desempenho em campo destes dispositivos considerando a influência das variações espectrais e identificar os componentes atmosféricos que causam tais variações. Neste artigo alguns dados prévios obtidos com esse projeto relacionados aos espectros solares e aos módulos de Silício monocristalino e Arseneto de Gálio serão mostrados e discutidos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Unidades de coleta de Dados

A parte experimental do projeto consistiu no desenvolvimento de dois sistemas de medições que foram instalados no Laboratório de Instrumentação Meteorológica – LIM/INPE em Cachoeira Paulista - SP: o Sistema de Aquisição de Espectros (SAE) e o Sistema de Aquisição Fotovoltaico (SAF). O primeiro tem por objetivo coletar os espectros da radiação solar e está em operação desde fevereiro de 2015 enquanto que o segundo tem por função monitorar o desempenho de seis módulos fotovoltaicos de tecnologias diferentes, tendo começado a operar em agosto do mesmo ano. Um esquema dos dois sistemas seguem na Fig. 1, aonde é possível ver os equipamentos que os constituem e o fluxo de dados.

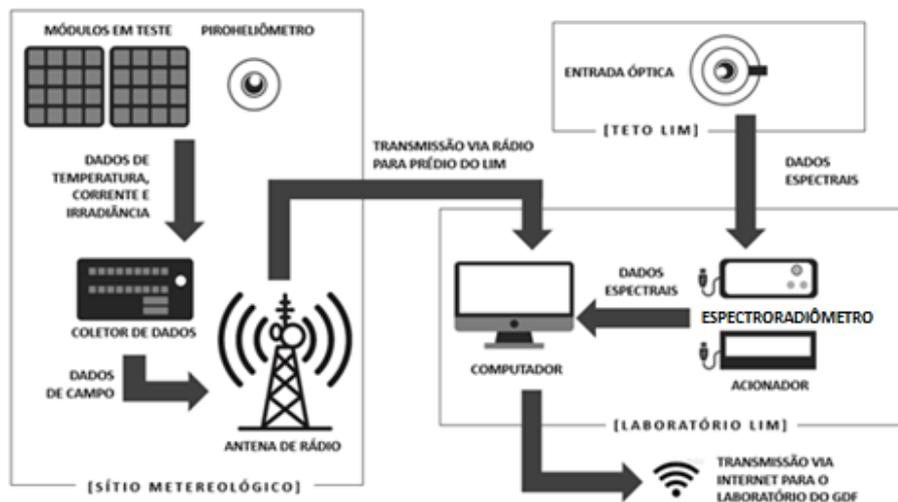


Fig. 1 – Diagrama esquemático do SAE e SAF com o fluxo de informação e localização de seus respectivos componentes.

O Sistema de Aquisição de Espectro (SAE) encontra-se instalado sobre o prédio do LIM onde as condições são adequadas (ausência de sobras e de reflexos) e é constituído por uma interface óptica desenvolvida para esta finalidade, uma fibra óptica de 25 m, um espectralradiômetro, um acionador eletrônico também desenvolvido no LAS com a plataforma livre Arduino UNO<sup>2</sup> e um computador. Na Tab. 2 seguem as especificações do espectralradiômetro. Nesse sistema, a radiação solar passa pela interface óptica e é enviada através da fibra óptica para o espectralradiômetro. Os dados de espectros são coletados e armazenados no computador quando o acionador lhe envia um sinal automático no horário pré-determinado (de hora em hora das 8:00 as 18:00). A Fig. 2 mostra uma foto da interface óptica em operação no LIM em Cachoeira Paulista – SP.



Fig. 2 – Interface Óptica do SAE instalado em Cachoeira Paulista.

O Sistema de Aquisição Fotovoltaico (SAF) foi instalado em um sítio de medições meteorológicas em frente ao prédio do LIM em Cachoeira Paulista. Ele é constituído por um coletor de dados CR1000 da Campbell, seis termopares tipo K, seis resistores Shunt para medições de corrente de curto-circuito, rádios transmissor e receptor para comunicação de dados, um piranômetro (instalado no mesmo plano que os módulos), um computador e seis módulos fotovoltaicos de tecnologias diferentes montados no plano inclinado no ângulo da latitude local. Na Tab. 2 seguem as especificações dos termopares e do piranômetro. Dos módulos, quatro são constituídos por células fotovoltaicas baseada no silício (Si-amorfo, Si-microcristalino, Si-policristalino e Si-monocristalino) e dois em tecnologias de uso espacial (Arseneto de Gálio e multijunção). A aquisição de dados é realizada automaticamente de minuto em minuto, aonde são coletados os valores da corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ), da temperatura dos módulos, e da irradiância solar total no plano inclinado. Os dados são coletados e enviados via rádio para o computador. A Fig. 3 mostra uma foto do SAF instalado no sítio próximo ao prédio do LIM.



Fig. 3 - Módulos monitorados pelo SAF em Cachoeira Paulista.

Tab. 2 – Especificações dos sensores utilizados no estudo.

Sensor	Modelo / Fabricante	Faixa de Operação
Espectralradiômetro	CCD 2048 / GetSpec	350 a 950 nm
Termopar	Tipo K / BrOmega	0 a 110 °C
Piranômetro	CM 11 / KippZonen	310 a 2800 nm

<sup>2</sup> Arduino é uma plataforma digital destinada a projetos eletrônicos composta por um microcontrolador ATmega328P, catorze entradas/saídas digitais, seis entradas analógicas, porta USB para comunicação com o computador, etc. Para sua programação, o Arduino utiliza uma linguagem padrão baseada em Wiring, (muito parecida com o C/C++) (Lemos, 2013).

## 2.2 Agrupamento dos Dados

Os dados coletados pelo SAE e SAF serão agrupados de acordo com os tipos de cobertura de nuvens no qual o céu se encontrava no momento da aquisição. Assim, o Índice de Limpeza ou Claridade (Kt), definido como a razão entre a irradiância medida na superfície terrestre pela irradiância no topo da atmosfera, será utilizado para essa finalidade, classificando o céu em nublado, parcialmente nublado ou ensolarado. Um valor de Kt menor que 0,30 representa a condição de nublado, entre 0,30 e 0,65 representa a condição de parcialmente nublado e maior que 0,65 representa um céu ensolarado (Silva, 2011).

## 2.3 Análise dos dados

A metodologia para avaliação dos dados obtidos com os sistemas descritos encontra-se em desenvolvimento. Porém, análises prévias já estão sendo realizadas a fim de se estudar o comportamento em campo dos módulos. Nelas, os valores de corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ) estão sendo utilizados como parâmetro de avaliação, uma vez que ela apresenta baixa dependência com a temperatura quando comparado com a tensão de circuito aberto  $V_{CA}$  e por isso é um parâmetro confiável para tal finalidade (Ibrahim, et al., 2011). Os valores da corrente  $I_{CC}$  estão sendo comparados aos valores de temperatura do módulo e com a irradiância total incidente, de modo a se verificar suas influências nos módulos fotovoltaicos.

No estudo das variabilidades espectrais tem-se utilizado a normalização do espectro descrita pela Eq. (1). Ela permite que o formato dos espectros possam ser comparados entre si, trazendo algumas informações a respeito da influência neles de componentes atmosféricos presentes em Cachoeira Paulista - SP. Para o estudo destes dados, alguns espectros médios normalizados de dias de um mesmo mês ou de uma mesma condição de céu (ensolarado ou nublado) foram comparados entre si.

$$H_N(\lambda) = \frac{H_M(\lambda)}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

Onde

$H_N(\lambda)$  = Irradiância Espectral Normalizada

$H_M(\lambda)$  = Irradiância Espectral Média pra um determinado mês ou condição de céu

$\lambda_2$  e  $\lambda_1$  = Comprimentos de onda

## 3. RESULTADOS PARCIAIS E DISCUSSÃO

### 3.1 Espectros da radiação solar coletados

Os espectros médios coletados às 12:00 horas de dias ensolarados para os meses entre fevereiro e setembro de 2015 seguem na Fig. 4. Através deles pode-se perceber que houve uma queda da intensidade do sinal passarão longo do ano, que provavelmente foi um reflexo da mudança do meio dia solar com o tempo.

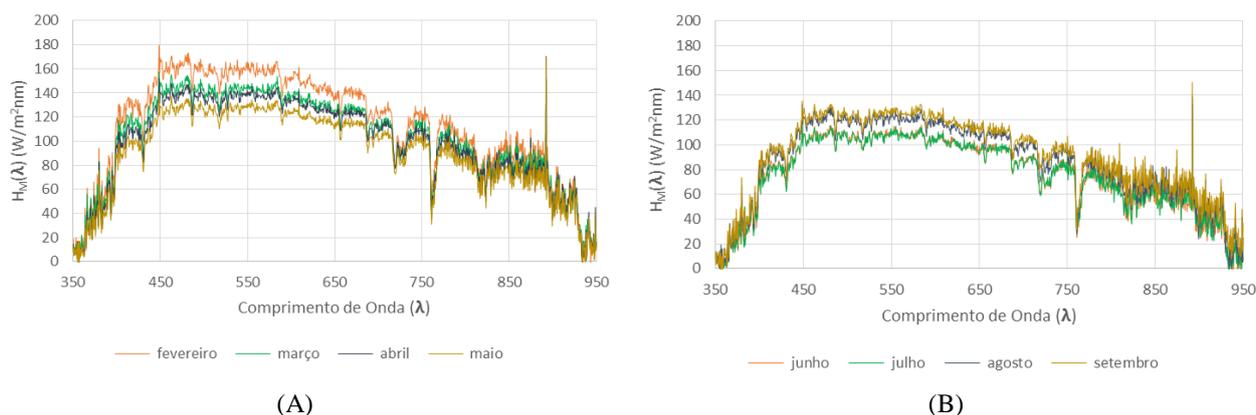


Fig. 4 – Espectros médios da irradiância solar coletados às 12:00 sob condição de céu ensolarado para o mês de Fevereiro, Março, Abril e Maio em (A) e Junho, Julho, Agosto e Setembro em (B).

As diferenças no formato dos espectros que ocorreram ao longo do tempo foram avaliadas através de um gráfico com espectros normalizados médios referentes aos meses de fevereiro a setembro. Somente dados coletados às 12:00 horas sob a condição de céu ensolarado foram utilizados e as curvas foram tratadas com a técnica da Média Móvel. Como exemplo, no gráfico da Fig. 5 é mostrado os espectros de fevereiro, abril, julho e setembro que apresentaram formatos bem parecidos, havendo algumas diferenças em regiões do Infravermelho próximo, como as que ocorreram ao redor de 720 nm, 820 nm e 940 nm. Estas são regiões onde acontece a absorção da radiação por parte do vapor d'água

presente na atmosfera. Como para os meses de fevereiro e julho elas foram ligeiramente mais pronunciadas, provavelmente nestes períodos a quantidade desse componente na atmosfera era maior que em abril ou setembro. Outras diferenças ainda estão sendo avaliadas.

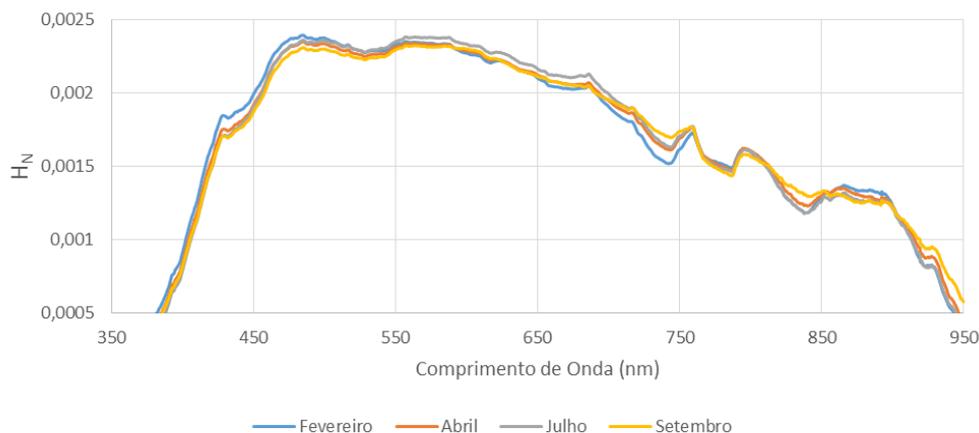


Fig. 5 – Espectros normalizados médios da radiação solar para a condição de céu ensolarado nos meses de fevereiro, abril, julho e setembro. As curvas foram tratadas com a técnica da Média Móvel afim de tornar a curva mais suave.

A análise da diferença entre o formato espectral de dados para céu limpo e nublado foram realizados através de gráficos com as curvas espectrais normalizadas médias para o horário das 12:00 horas de dias ensolarados e nublados. Como exemplo, a Fig. 6 mostra o gráfico citado para o mês de julho, estando ele tratado com a técnica da Média Móvel. É possível observar que em dias com a presença de muitas nuvens no céu os espectros se mostraram, em média, menores no infravermelho e maiores na região do visível. As menores intensidades no infravermelho estão relacionadas à absorção pela água, ao passo que as maiores intensidades no visível podem estar relacionados ao tipo de espalhamento Mie, que é característico das nuvens e é mais homogêneo do que o Rayleigh (que é dominante em dias de céu limpo).

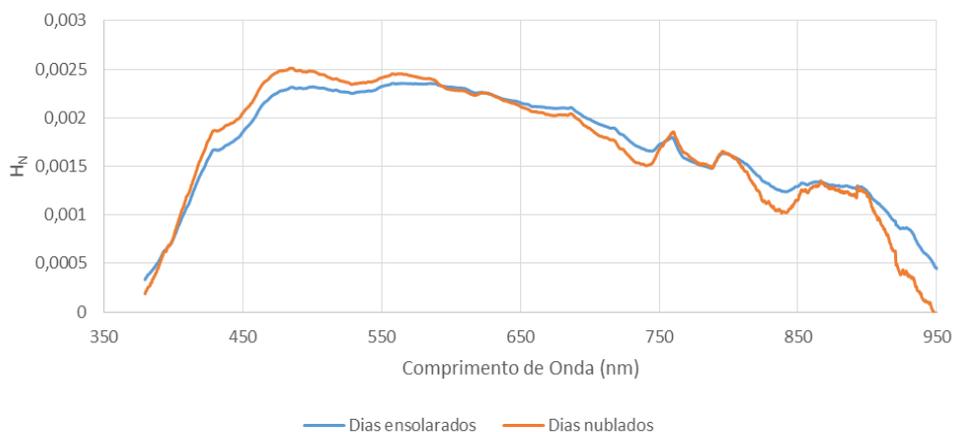


Fig. 6 – Espectros normalizados médios da radiação solar coletados às 12:00 para condições de céu ensolarado e nublado para o mês de julho. As curvas foram tratadas com a técnica da Média Móvel afim de torná-las mais suave.

Essas variações espectrais apresentadas ainda estão sendo analisadas e podem ser que venham a exercer influências significativas no funcionamento dos módulos fotovoltaicos. Para que isso seja verificado, estudos que visem compreender melhor os espectros e seus efeitos no funcionamento de tais dispositivos estão sendo realizados.

### 3.2 Dados dos Módulos Fotovoltaicos

Na Fig. 7 pode-se observar gráficos que mostram a relação entre a corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ) e a Irradiância Total no Plano Inclinado ( $H_{GPI}$ ) para o módulo de Silício Monocristalino em (A) e de Arseneto de Gálio em (B). Esses dados foram coletados entre as 8:00 e 12:00 horas de um dia classificado como ensolarado e, de acordo com eles, tais parâmetros tornam-se linearmente dependentes quando a irradiância apresenta valores mais altos (a partir de 400  $W/m^2$ ). Isso ocorre porque a influência do ângulo de incidência da radiação diminui para horários próximos ao meio dia (de acordo com a lei dos cossenos). O mesmo comportamento foi observado nos outros módulos estudados.

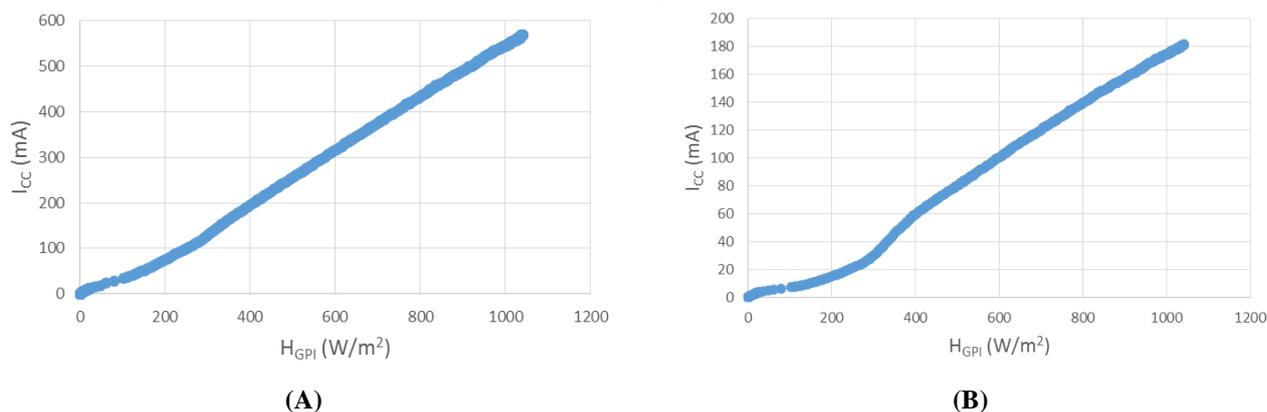


Fig. 7 – Relação entre a corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ) e a Irradiância Total no Plano Horizontal ( $H_{GPI}$ ) para o módulo de Silício Monocristalino em (A) e de Arseneto de Gálio em (B). Estes dados foram coletados entre 8:00 e 12:00 do dia 31/08, tendo sido classificados como dados de céu claro de acordo com os seus valores de  $K_t$ .

Para a condição de céu classificada como Nublado, gráficos com os dados da corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ) versus o valor da Irradiância Total no Plano Inclinado ( $H_{GPI}$ ) também foram plotados e são apresentados na Fig. 8 para o módulo de Silício Monocristalino em (A) e de Arseneto de Gálio em (B). Conforme pode ser observado, os parâmetros se mantêm lineares por todo o gráfico. Tal linearidade ocorre em dias Nublados porque há a predominância da radiação difusa, que incide no módulo vinda de todas as direções, eliminando a influência do ângulo de incidência da radiação. Comportamento idêntico à esse também foi observado nos outros módulos estudados.

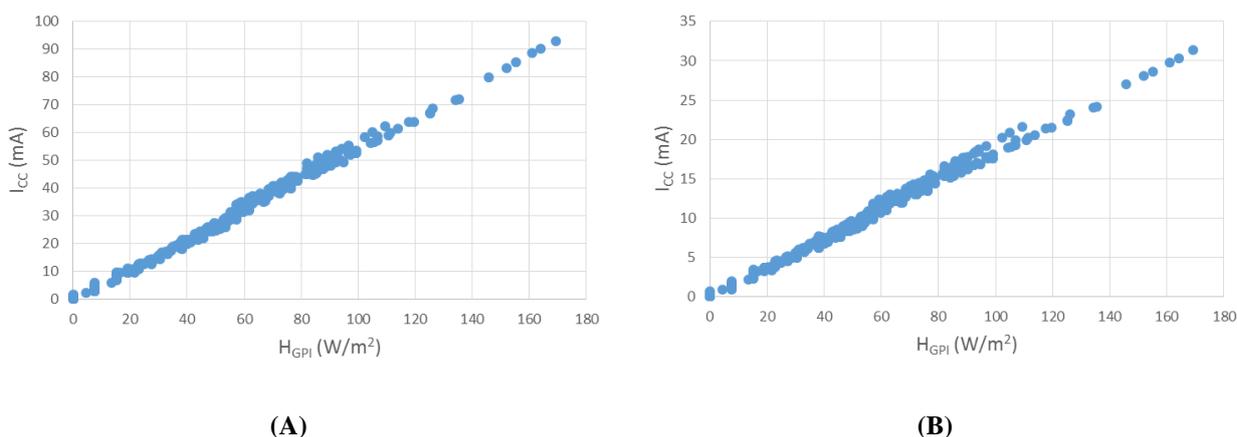


Fig. 8 – Relação entre a corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ) e a Irradiância Total no Plano Horizontal ( $H_{GPI}$ ) para o módulo de Silício Monocristalino em (A) e de Arseneto de Gálio em (B). Estes dados foram coletados entre 8:00 e 12:00 do dia 27/08, tendo sido classificados como dados de céu nublado de acordo com os seus valores de  $K_t$ .

A influência da temperatura no processo de produção também está sendo avaliada e dois exemplos seguem nas Fig. 9 e 10. Na Fig. 9, a variação da corrente de curto circuito com a temperatura sob a condição de céu ensolarado é mostrado em (A) para o módulo de Silício Monocristalino e em (B) para o módulo de Arseneto de Gálio. Em ambos os gráficos é possível observar que a corrente tende a aumentar no mesmo sentido que a temperatura, comportamento também apresentado pelos outros módulos. Já na Fig. 10 seguem os mesmos tipos de gráfico, só que para a condição de céu nublado. Nesse tipo de cobertura do céu, podemos observar que a relação entre a temperatura e a corrente oscila. Provavelmente tais oscilações são resultado das rápidas variações da temperatura dos módulos causadas pelas trocas de calor intermitente com o vento. Estes estudos de efeitos causados nos módulos pela irradiância e temperatura serão, em um trabalho futuro analisadas em conjunto com os efeitos causados pelas variações espectrais

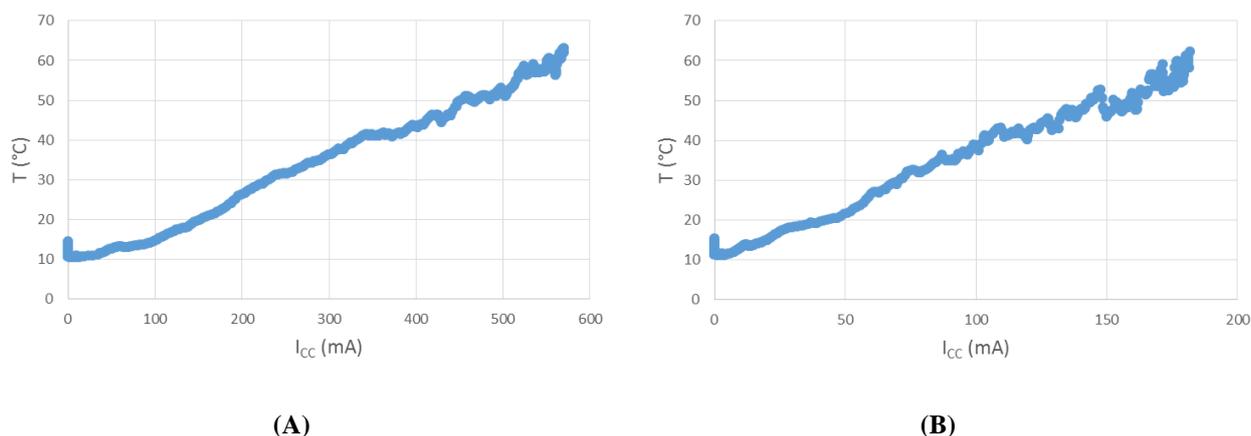


Fig. 9 – Relação entre a corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ) e a Temperatura para o módulo de Silício Monocristalino em (A) e de Arseneto de Gálio em (B). Estes dados foram coletados entre 8:00 e 12:00 do dia 31/08, tendo sido classificados como dados de céu ensolarado de acordo com os seus valores de  $K_t$ .

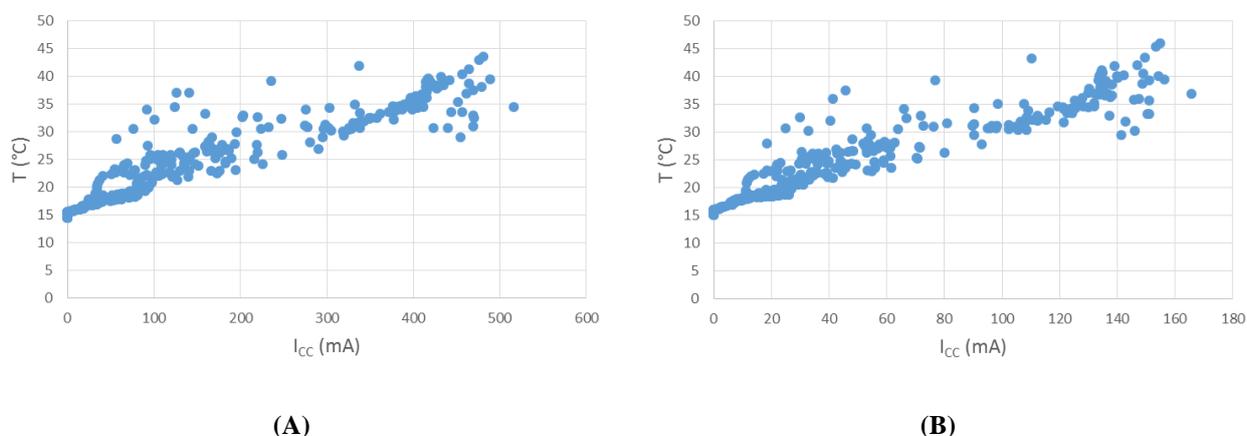


Fig. 10 – Relação entre a corrente de curto-circuito ( $I_{CC}$ ) e a Temperatura do dispositivo para o módulo de Silício Monocristalino em (A) e de Arseneto de Gálio em (B). Estes dados foram coletados entre 8:00 e 12:00 do dia 27/08, tendo sido classificados como dados de céu nublado de acordo com os seus valores de  $K_t$ .

#### 4. CONCLUSÃO

A análise dos dados coletados ainda está em andamento e permitirá obter um maior entendimento de alguns fatores que influenciam no desempenho em campo dos módulos fotovoltaicos, principalmente o efeito dos espectros solares. Porém, algumas avaliações prévias já estão sendo realizadas, como por exemplo, o estudo da variabilidade dos espectros normalizados. Tal estudo pode ajudar no entendimento da influência de componentes atmosféricos no formato do espectro (como no caso do vapor d'água que absorve radiação em regiões do infravermelho próximo) e consequentemente suas influências em dispositivos fotovoltaicos. Análises prévias dos dados dos módulos solares também estão sendo realizadas através da verificação da influência de parâmetros como a irradiância total no plano inclinado e da temperatura na corrente de curto-circuito.

Com os dados obtidos até o momento observou-se que para ambas as condições de céu avaliadas (ensolarado e nublado) a corrente é diretamente proporcional à irradiância, havendo variações ao longo dos meses somente para a condição de céu limpo devida, talvez, à influência do ângulo de incidência da radiação. Quanto ao efeito da temperatura sobre os módulos avaliados, observou-se que conforme ela aumentava, a corrente de curto-circuito também se elevava, sendo que sob condições de céu ensolarado não há grande variabilidade desta relação.

Com este projeto de pesquisa, está sendo realizado pela primeira vez no Brasil um estudo sistemático das variações espectrais da radiação solar local, sendo que no futuro seus efeitos no funcionamento em campo de painéis fotovoltaicos de diferentes tecnologias serão estudados e avaliados em conjunto com outros dados ambientais. Numa segunda fase serão realizados estudos para outras regiões do Brasil, incluindo grandes centros urbanos.

#### REFERÊNCIAS

ASTM - American Society For Testing And Materials, 2015. E 1036-15: Standard Test Methods for Electrical Performance of Nonconcentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays Using Reference Cells, West Conshohocken, EUA.

- Dirnberger, D., Blackburn, G., Muller, B., Reise, C.. 2015. On the impact of solar spectral irradiance on the yield of different PV Technologies, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 132, pp. 431-442.
- Grupo De Trabalho De Energia Solar (GTES)/Centro De Pesquisas De Energia Elétricas/Centro De Referência Para Energia Solar E Eólica Sérgio De Salvo Brito, 2014. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro.
- Ibrahim, A., Ramadan, M. R. I., Aboul-Enein, S., Abdel-Azeem ElSebaii, A., El-Broullesy, S. M., 2011. Short Circuit Current  $I_{sc}$  as a Real Non-Destructive Diagnostic Tool of a Photovoltaic Modules Performance, *International Journal Of Renewable Energy Research*, vol. 1, pp. 53-59.
- Ishii, T., Otani, K., Takashima, T., 2010. Effects of solar spectrum and module temperature on outdoor performance of photovoltaic modules in round-robin measurements in Japan, *Progress in Photovoltaics Research and Applications*, vol. 19, pp. 141- 148.
- ISO - International Organization For Standardization, 2007. ISO 21348 Space environment (natural and artificial) Process for determining solar irradiances, Genebra, Suíça.
- Lemos, M., 2013. Arduino: Conheça esta plataforma de hardware livre e suas aplicações. Blog Fazedores, 17 de nov. de 2013. Disponível em: <[blog.fazedores.com/arduino-conheca-esta-plataforma-de-hardware-livre-e-suas-aplicacoes/](http://blog.fazedores.com/arduino-conheca-esta-plataforma-de-hardware-livre-e-suas-aplicacoes/)>. Acesso em: 7 de set. 2015.
- Osterwald, C., Marion, B., Kroposki, B., Emery, K., Cueto, J., Myers, D., 1999. Validation of a photovoltaic module energy ratings procedure at NREL. Golden, EUA. Disponível em: <[www.nrel.gov/docs/fy99osti/26909.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/26909.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2015.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Ruther, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos, INPE. Disponível em: <[http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas\\_solar-reduced.pdf](http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf)>. Acesso em: 7 de set. 2015.
- Revista do Senado EM DISCUSSÃO!, 2015. Brasília: Agência e Jornal do Senado, n. 25, jun. 2015. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/jornal/revista-em-discussao>>. Acesso em: 5 de set. 2015.
- Silva, V. A. M., 2011. Influência da cobertura do céu na estimativa da radiação solar utilizando modelo digital de elevação, Dissertação de Mestrado, UFMT, Cuiabá.
- Vilela, W. A., 2010. Estudo, desenvolvimento e caracterização de radiômetros para medidas da radiação solar, Tese de Doutorado, INPE, São José dos Campos.

## PERFORMANCE EVALUATION SYSTEM FROM PHOTOVOLTAIC MODULES CONSIDERING SPECTRAL VARIATION

**Abstract.** *This paper presents the development of a system to evaluate the performance of photovoltaic modules. It consists of two units of data collection: the first collects solar radiation spectral data in the range 350 and 950 nm and the second measures parameters of photovoltaic modules of several technologies. The system has been deployed on the campus of INPE in Cachoeira Paulista, SP, along with a SONDA solar radiometric station and a meteorological station that provides additional data. This study aims to present some preliminary results of spectral data and data concerning the monocrystalline silicon and Gallium Arsenide photovoltaic modules, discuss some spectral variations of solar radiation and evaluate the influence of irradiance and temperature in those modules.*

**Key words:** *Photovoltaic Modules, Solar Radiation, Solar Spectrum*