

# DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE RADIAÇÃO DIFUSA NA CIDADE DE SALVADOR

**Leonardo Rafael Teixeira Cotrim Gomes** (UFBA) - cotrim.leo@gmail.com

**Edson Pereira Marques Filho** (UFBA) - edson.marques@ufba.br

**Iuri Muniz Pepe** (UFBA, IF, LaPO) - lapo.if@gmail.com

**Bruno Severino Mascarenhas** (UFBA) - brunomasck@hotmail.com.br

**Amauri Pereira de Oliveira** (Instituição - a informar) - apdolive@usp.br

**Jose Ricardo de Almeida França** (UFRJ) - jricardo@igeo.ufrj.br

## **Resumo:**

*O nordeste Brasileiro (NEB) é a região com maior potencial solar do Brasil. O incentivo para instalação de sistemas fotovoltaicos no país e o aumento dos estudos relacionados à radiação solar para geração de energia elétrica tem crescido de maneira mais ativa nesta década. Estudos de eficiência de painéis solares são necessários para um melhor aproveitamento desse precioso recurso renovável. Para viabilizar os estudos de eficiência em painéis fotovoltaicos, se faz necessário ter em mãos os dados de radiação solar global (IG) de radiação difusa (IDIF). Estações automáticas de instituições governamentais, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) medem e disponibilizam apenas dados de IG. Para coleta de dados de radiação difusa, foi proposto neste artigo a construção de um dispositivo de medição, baseado fundamentalmente no anel de sombreamento. O dispositivo construído apresentou-se funcional e contribuiu para a coleta de dados de IDIF na cidade de Salvador. Uma breve análise de condição de céu foi realizada a partir dos dados teóricos de radiação no topo da atmosfera (IT) e dados coletados de IG e IDIF. As análises dos dados permitiram a classificação da condição do céu conforme índice de claridade (Kt).*

**Palavras-chave:** *Energia Solar, Radiação difusa; Dispositivo de medição*

**Área temática:** *Radiação Solar*

**Subárea temática:** *Instrumentação vinculada à medições meteorológicas*

# DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE RADIAÇÃO DIFUSA NA CIDADE DE SALVADOR

**Leonardo Rafael Teixeira Cotrim Gomes** – cotrim@ufrb.edu.br  
Universidade Federal da Bahia - Centro Interdisciplinar em Energia e Ambiente  
**Edson Pereira Marques Filho** – edson.marques@ufba.br  
Universidade Federal da Bahia - Centro Interdisciplinar em Energia e Ambiente  
**Iuri Muniz Pepe** – mpepe@ufba.br  
Universidade Federal da Bahia - Centro Interdisciplinar em Energia e Ambiente  
**Bruno Severino Mascarenhas** – bruno.severino@ufba.br  
Universidade Federal da Bahia - Engenharia da Computação  
**Amauri P. de Oliveira** – apdolive@usp.br  
Universidade de São Paulo - Departamento de Ciências Astronômicas  
**José Ricardo de Almeida França** – jricardo@igeo.ufrj.br  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - Departamento de Meteorologia

**Resumo.** O nordeste Brasileiro (NEB) é a região com maior potencial solar do Brasil. O incentivo para instalação de sistemas fotovoltaicos no país e o aumento dos estudos relacionados à radiação solar para geração de energia elétrica tem crescido de maneira mais ativa nesta década. Estudos de eficiência de painéis solares são necessários para um melhor aproveitamento desse precioso recurso renovável. Para viabilizar os estudos de eficiência em painéis fotovoltaicos, se faz necessário ter em mãos os dados de radiação solar global ( $I_G$ ) de radiação difusa ( $I_{DIF}$ ). Estações automáticas de instituições governamentais, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) medem e disponibilizam apenas dados de  $I_G$ . Para coleta de dados de radiação difusa, foi proposto neste artigo a construção de um dispositivo de medição, baseado fundamentalmente no anel de sombreamento. O dispositivo construído apresentou-se funcional e contribuiu para a coleta de dados de  $I_{DIF}$  na cidade de Salvador. Uma breve análise de condição de céu foi realizada a partir dos dados teóricos de radiação no topo da atmosfera ( $I_T$ ) e dados coletados de  $I_G$  e  $I_{DIF}$ . As análises dos dados permitiram a classificação da condição do céu conforme índice de claridade ( $K_t$ ).

**Palavras-chave:** Energia Solar, Radiação difusa; Dispositivo de medição

## 1. INTRODUÇÃO

O nordeste do Brasil (NEB) está localizado na região tropical e possui um potencial excepcional de energia solar a ser explorado em larga escala, segundo Martins et al., (2012a). O potencial é maior observado, principalmente nas regiões costeiras onde as áreas metropolitanas estão concentradas. No entanto, a informação disponível sobre o recurso solar a longo prazo é bastante limitada. Neste caso, os modelos empíricos são indicados fornecendo estimativas de radiação solar global ( $I_G$ ) a partir de medições do fotoperíodo ( $S$ ) (Rehman e Halawani, 1997).

De modo a verificar a eficiência dos dispositivos de energia solar é necessário determinar o comportamento da radiação incidente em superfícies inclinadas. Neste caso, os modelos para estimar a radiação em superfícies inclinadas exigem o conhecimento das componentes de radiação  $I_G$  e difusa ( $I_{DIF}$ ) incidentes em uma superfície horizontal (Chandrasekaran e Kumar, 1994). No Brasil ainda há um reduzido número de estações radiométricas realizando medições de alta qualidade de componentes de radiação solar. Outro fator que dificulta esse processo é que quase a totalidade das medidas radiométricas coletadas pela rede de estações meteorológicas são  $I_G$  e ou  $S$ . Uma alternativa é o uso de modelos empíricos para estimar os componentes da radiação solar (Liu e Jordan, 1960).

Nos últimos anos, devido ao aumento do interesse em recursos energéticos renováveis, o comportamento da irradiação solar sobre o NEB foi estudado. Um dos primeiros trabalhos a investigar o comportamento sazonal da  $I_G$  e da irradiação solar difusa  $I_{DIF}$  em todo o território brasileiro foi apresentado por Pereira et al., (1996). Usando um modelo de transferência radiativa derivado de satélite, eles identificaram um máximo de  $I_G$  maior que  $20 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  sobre o NEB no inverno. Esse resultado foi confirmado no mapa de contorno da média anual  $I_G$  apresentada por Tiba et al., (1999) e com base na análise estatística de medidas radiométricas coletadas na superfície.

Martins et al., (2012b), utilizaram um novo modelo de transferência radiativa derivado de satélite, denominado BRASIL-SR, para inferir os valores médios mensais de  $I_G$  e avaliar o potencial de geração de energia solar. Os resultados mostraram que o NEB apresenta valores médios anuais de  $I_G$  em torno de  $23,4 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  em uma região semiárida e valores em torno de  $18,7 \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  próximos ao NEB oriental.

De Jong et al., (2013), avaliaram a capacidade de geração de energia elétrica por recursos renováveis em Salvador a partir da análise estatística de  $I_G$  e velocidade do vento. Eles mostram que as fontes de energia renováveis complementam a geração de energia hidrelétrica e os recursos de energia solar se correlacionam razoavelmente bem à curva de carga durante a luz do dia.

De Souza et al., (2016) investigam diferentes formas baseadas no modelo de Angström-Prescott para estimar uma média diária e mensal de  $I_G$  para três sítios experimentais localizados em Alagoas (estado do NEB). O modelo original de Angström-Prescott apresentou as melhores estimativas, mas os coeficientes ajustados mostraram grande variabilidade. Em 2016 Lima et al., mostraram que a aplicação de técnicas de redes neurais com modelos de previsão meteorológica melhora o prognóstico da irradiância solar sobre o NEB.

Como supracitado, a medição da  $I_{DIF}$  se faz necessária para que análises e caracterização da radiação solar sejam realizadas. Um dos entraves encontrados para a realização das medidas se deve ao alto custo dos equipamentos para medição da radiação difusa disponíveis no mercado.

O objetivo principal deste artigo é apresentar a atualização e construção do dispositivo de baixo custo, baseado no *Movable Detector Device* – MDD (Oliveira et al., 2002), que foi utilizado para efetuar a medição direta da radiação difusa na cidade de Salvador.

## 2. MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO DIFUSA

Dentre os principais métodos para medição da radiação difusa se destacam o método padrão, também conhecido como método da diferença, que consiste em obter dados de  $I_{DIF}$  de forma indireta, esta será dada pela diferença entre  $I_G$  e a radiação direta ( $I_{DIR}$ ) projetada na horizontal (Iqbal, 1983). O método padrão utiliza um piranômetro (medição de  $I_G$ ) e um pireliômetro (medição de  $I_{DIR}$ ). Outra forma de obter a  $I_{DIF}$ , se dá através do bloqueio da  $I_{DIR}$  usando um anel de sombreamento, que após efetuar esse bloqueio projetará uma faixa de sombra sobre um determinado detector de radiação solar (piranômetro), fazendo com que este colete apenas a componente  $I_{DIF}$  (Oliveira et al., 2002). A vantagem do segundo método em relação ao primeiro se dá pelo custo e facilidade de operação do sistema.

### 2.1 MOVABLE DETECTOR DEVICE - MDD

O MDD (Oliveira et al., 2002) foi o dispositivo conceitual, utilizado como base para a construção do dispositivo de medição de radiação difusa a ser apresentado neste trabalho. O MDD consiste em uma adaptação dos dispositivos de Drummond (1956) e Robinson e Schotch (1964). O funcionamento do sistema apresentado na imagem (a) da Fig. 1, consiste no anel de sombreamento fixo em seu eixo de rotação (não se movimenta pelo eixo polar) e o detector (piranômetro) que é disposto horizontalmente na direção norte-sul. O plano do anel de sombreamento é inclinado para o norte com um ângulo igual a latitude local e então o detector se move horizontalmente por um mecanismo de rosca e fuso até que este esteja centralizado na faixa de sombra realizada pelo anel. Vale ressaltar que a faixa (banda) de sombreamento depende da latitude local e da época do ano. A imagem (b) da Fig. 1 apresenta o MDD montado, que consiste basicamente numa estrutura em aço-carbono com latitude fixa de aproximadamente 25° (Botucatu-SP), soldada a uma base paralela e horizontal ao piso, que possui um parafuso acoplado a uma base sustentadora com um piranômetro fixado a esta.

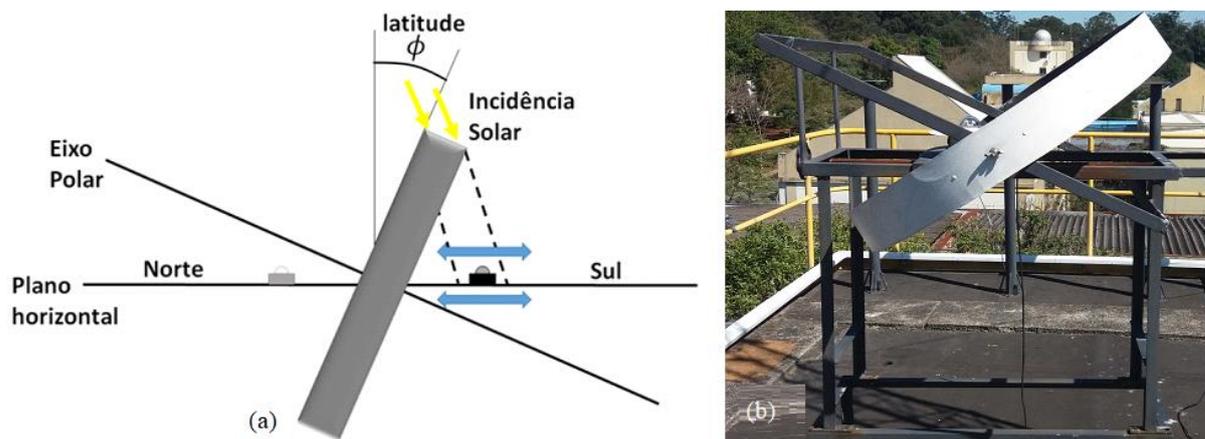


Figura 1 - (a) Funcionamento MDD; (b) Imagem coletada do MDD em julho de 2018 no Laboratório de Micrometeorologia (LabMicro) do Instituto de Astronomia e Geofísica (IAG) da Universidade de São Paulo (USP).

## 3 MATERIAIS E METODOS

O local de instalação do dispositivo e coleta de dados de radiação está situado no Laboratório de Micrometeorologia e Modelagem (LabMiM) que possui uma plataforma ambiental do LabMiM (PAmb-LabMiM) no terraço do Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (CIEnAM) no Campus da Universidade Federal da Bahia (UFBA, com coordenadas 13°00'3" latitude sul, 38°30'21" longitude oeste e altitude 20 m. A Fig. 2 apresenta a posição geográfica inserido na Baía de Todos os Santos (BTS).

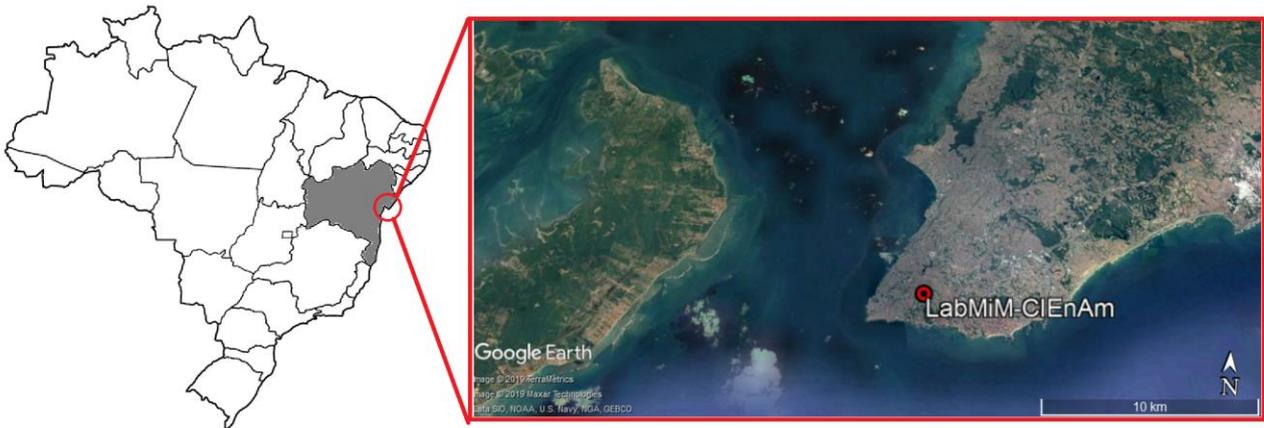


Figura 2 - Posição geográfica da cidade de Salvador (Mapa do Estado do Brasil no canto superior esquerdo) o e local dos locais experimental e LabMiM (círculo vermelho).

### 3.1 SENSORES E EQUIPAMENTOS DE COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados de radiação global e radiação difusa foram utilizados para medição da  $I_G$  um saldo radiômetro e para a  $I_{DIF}$ , além de um datalogger para o sistema de aquisição de dados. A Tab. 1 apresenta os principais dados dos equipamentos utilizados.

Tabela 1 - Especificação dos instrumentos de coleta de dados.

Instrumento	Modelo	Marca
Piranômetro	PSP	Eppley
Saldo radiômetro	CNR1	Kipp&Zonen
Datalogger	CR5000x	Campbell Scientific

### 3.2 DIFFUSE RADIATION MEASURING DEVICE – DRMD

Para a coleta de dados de radiação difusa, foi necessária a construção de um dispositivo de medição da componente  $I_{DIF}$  em superfícies horizontais. Vale ressaltar que a cidade de Salvador não dispõe de dados de radiação difusa proveniente de outra fonte externa, seja ela pública ou privada, o que faz desse dispositivo inédito para a cidade e estado da Bahia.

Como citado na seção 3 deste artigo, o dispositivo construído é uma modificação e atualização do MDD, contando com design modernizado em alumínio estrutural e utilização de mecanismos que permitem melhor transporte, montagem, ajuste, calibração e manutenção do mesmo. O Dispositivo de Medição de Radiação Difusa construído foi intitulado como DRMD (Diffuse Radiation Measuring Device). O dispositivo foi construído com a utilização da Infraestrutura do Laboratório de Propriedades Óticas – LaPo, situado no Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia.

Visando a melhoria da mesa MDD, para a construção do modelo DRMD as modificações propostas para a atualização do design contemplam: i) mecanismo ajustável da latitude  $\phi$ , uma vez que o modelo MDD não possui esse ajuste, ou seja, o dispositivo é construído para uma latitude específica; ii) construção em alumínio estrutural, o que descarta a necessidade de solda em toda a estrutura além de redução do peso e aumento resistência a corrosão devido a exposição ao tempo; iii) utilização de um fuso (barra roscada) de aço inox e mancais e eixos para sustentação e movimentação horizontal da base do Piranômetro; (iv) adição de motor de passo para automação do ajuste horizontal do piranômetro; v) Utilização de borboletas de rápido ajuste para o giro e travamento do anel de sombreamento.

Para o início do projeto em CAD, foi necessário fazer o levantamento principais parâmetros de um dispositivo do tipo MDD. Dentre as premissas de projeto tem-se que: i) o Piranômetro deve se mover horizontalmente na direção norte-sul e sua base deve estar paralela e nivelada ao plano da base com inclinação em  $0^\circ$  em todo o percurso; ii) O anel de sombreamento deve ter o diâmetro de 0,8 e largura de 0,10 metros; iii) O anel de sombreamento deve estar fixado à uma plataforma (barras) com inclinação relativa a plataforma do Piranômetro de valor igual latitude local da coleta de dados; iv) O anel de sombreamento precisa ser girado durante o processo de calibração do dispositivo.

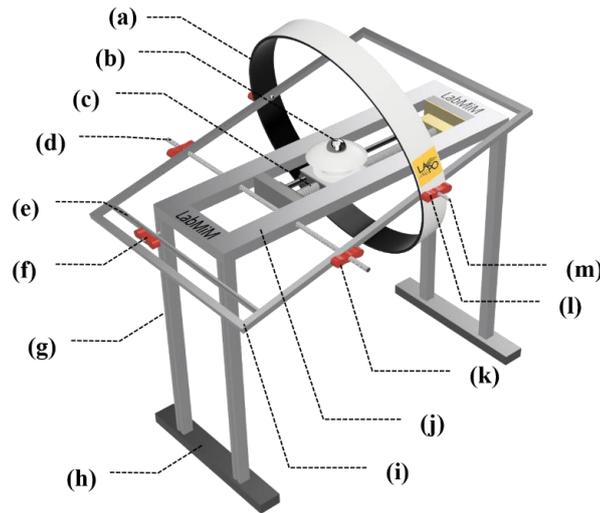


Figura 3 - Descrição dos componentes do DRMD. (a) anel de sombreamento; (b) piranômetro; (c) barra roscada para movimentação horizontal do conjunto Base-Piranômetro; (d) parafuso sustentador e regulador da base do anel de sombreamento; (e) haste reguladora da latitude  $\phi$ ; (f) trava do regulador da latitude  $\phi$ ; (g) barra de altura da mesa; (h) sapata de apoio da mesa; (i) base do anel de sombreamento; (j) base de principal da mesa; (k) trava da haste reguladora da base do anel de sombreamento; (l) trava de giro do anel de sombreamento; (m) parafuso de sustentação do anel de sombreamento.

Para possibilitar o ajuste da latitude  $\phi$  foi adicionado um mecanismo em que um parafuso corre na direção vertical da barra de altura da mesa (g) e ao mesmo tempo permite que a haste reguladora passe horizontalmente pelo seu comprimento, podendo ser travado pela trava (f) quando alcançar a latitude  $\phi$  desejada. A Fig. 4 apresenta detalhes do mecanismo.

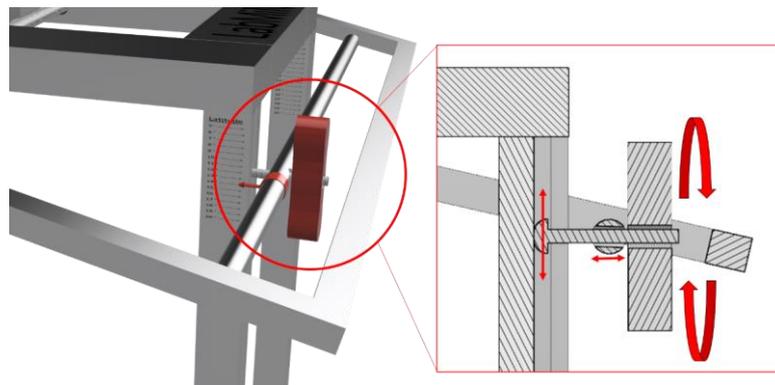


Figura 4 - Detalhe do funcionamento do mecanismo de ajuste da latitude  $\phi$ .

Para o ajuste angular do anel foi projetado um simples mecanismo de ajuste angular, através de pino e trava. A Fig. 5 apresenta o anel posicionado em 3 posições angulares.

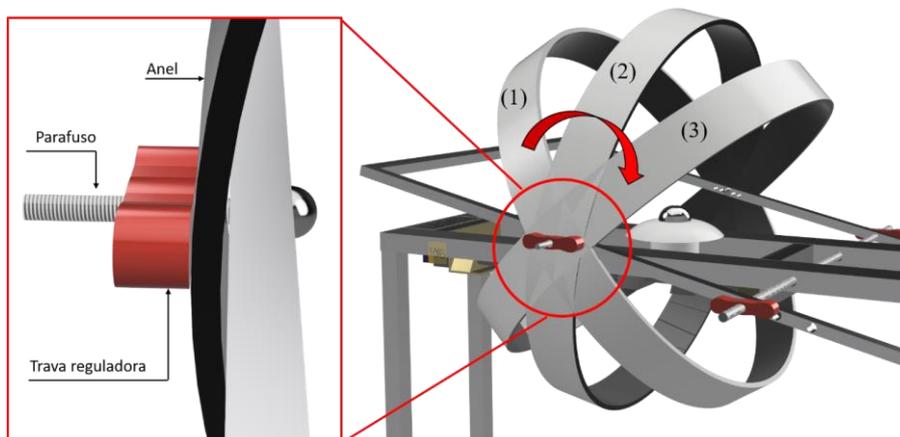


Figura 5 - Detalhe de ajuste do anel de sombreamento. (1) posição do anel a  $-230^\circ$ ; (2) posição do anel a  $10^\circ$ ; (3) posição do anel a  $30^\circ$ . (Ângulo formado entre o anel e a barra do anel).

Para que os dados de  $I_{DIF}$  sejam coletados adequadamente, existe a necessidade frequente de ajuste do piranômetro. Este precisa ser ajustado horizontalmente (no plano N-S) para que a sombra feita pelo anel esteja sempre cobrindo a cúpula do instrumento. Para otimizar o ajuste, foi adicionado ao projeto uma base acoplada a uma barra roscada e um motor de passo. O principal objetivo desse novo sistema é fazer com que o ajuste horizontal seja automatizado a partir de um microcontrolador (Arduino<sup>®</sup>) para transmitir os comandos de rotação para o sistema eletromecânico.

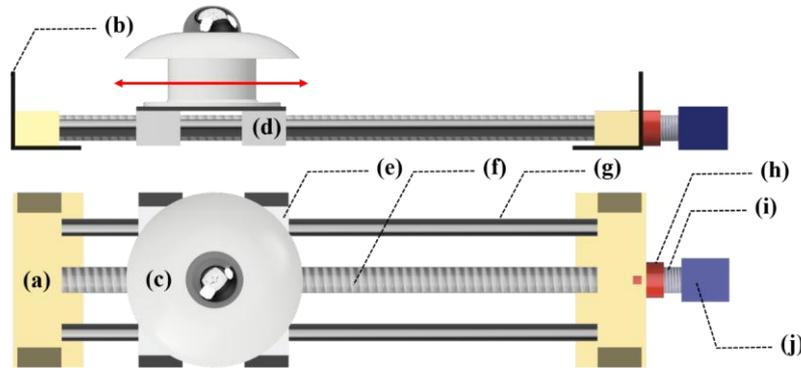


Figura 6 - Movimentação do Piranômetro. (a) mancal de acoplamento das barras; (b) suporte do mancal de acoplamento das barras (c) piranômetro; (d) mancal de acoplamento da base do piranômetro; (e) base de fixação do piranômetro; (f) barra roscada; (g) barra lisa de sustentação e nivelamento da base do piranômetro; (h) junta de acoplamento entre a barra roscada e eixo do motor de passo; (i) eixo do motor de passo; (j) motor de passo.

O processo de conformação por calandragem de uma chapa de alumínio, com dimensões aproximadas de (2600 x 100 x 2) mm, deu origem um anel com diâmetro de 800 mm. A montagem da mesa foi realizada em etapas distintas. As etapas se dividiram em montagem da base principal do dispositivo, montagem da barra e anel de sombreamento, montagem da base de deslocamento horizontal do piranômetro e montagem do piranômetro.

A Fig. 7 apresenta o dispositivo DRMD, montado, instalado e conectado ao sistema de aquisição do LabMiM.



Figura 7 – DRMD instalado na PAMB-LabMiM. (a) visão geral da mesa montada; (b) visão lateral da mesa montada; (c) visão do mecanismo de ajuste de latitude  $\phi$ .

O processo de fabricação e montagem conseguiu reproduzir o projeto executado em 3D, necessitando de alguns ajustes nos itens de fixação e ajuste da latitude  $\phi$ . Durante processo de montagem final da mesa, a instalação do sistema de motor de passo para automação do deslocamento horizontal do piranômetro estava em processo de desenvolvimento, desta forma sistema de deslocamento horizontal do piranômetro foi realizado manualmente. A instalação do motor de passo está prevista para a próxima etapa do projeto de pesquisa de coleta de dados de radiação difusa na cidade de Salvador.

Após a montagem do instrumento são necessários alguns ajustes no posicionamento da mesa. O primeiro passo consiste na no posicionamento do dispositivo a partir das coordenadas geográficas. O eixo horizontal que está montado o piranômetro, ou seja, precisa estar alinhado, paralelo com o norte verdadeiro. Logo em seguida se faz necessária a realização dos ajustes iniciais conforme descritos na Fig. 8.

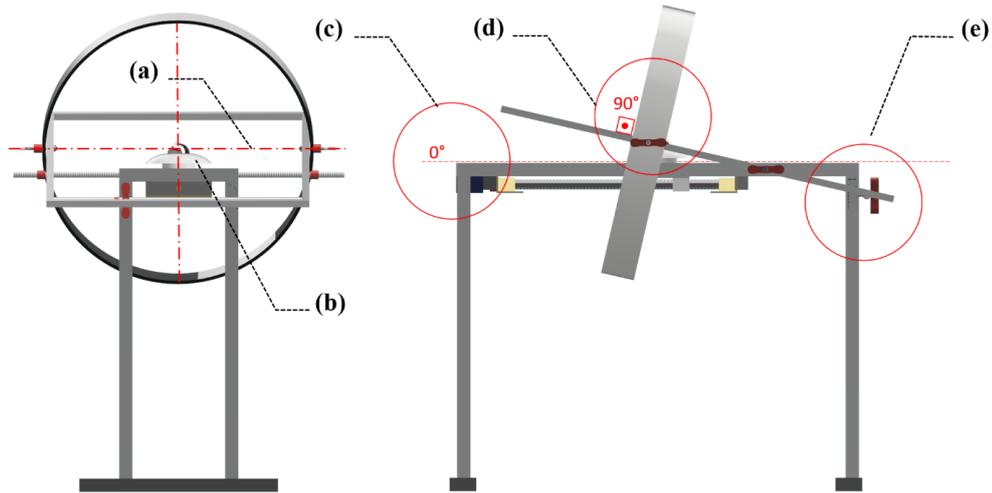


Figura 8 - DRMD – Descrição dos ajustes iniciais. (a) cúpula do piranômetro deve estar alinhada com o eixo do anel de sombreamento; (b) o piranômetro deve estar com o medidor de nível alinhado com a horizontal – 0°; (c) a mesa deve estar alinhada com a horizontal – 0°; (d) no primeiro ajuste do dispositivo o anel deve estar alinhado a 90° com o plano da barra de sustentação do anel; (e) o mecanismo deve estar travado na latitude local.

No ajuste ao nascer do sol, ao meio dia (sol a pino) e no pôr do sol, sombra do anel deverá estar sobre o piranômetro em todos os horários. Na primeira e terceira etapa a mesa do piranômetro é movida horizontalmente. Já na segunda etapa, que acontece ao meio dia, o piranômetro permanece estático e o anel é girado e travado de modo que a sombra esteja sobre o piranômetro.

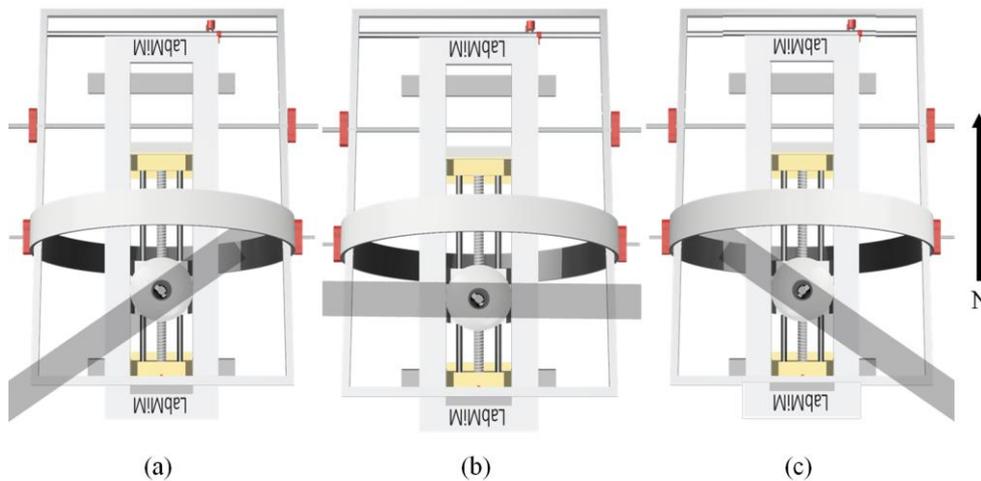


Figura 9 - Posição da sombra projetada pelo anel de sombreamento. (a) nascer do sol - sombra projetada de nordeste para sudoeste; (b) meio dia - sombra perpendicular à plataforma horizontal do piranômetro; (c) pôr do sol – sombra projetada de noroeste para sudeste.

#### 4 RADIAÇÃO SOLAR

Dados de radiação difusa foram inicialmente coletados entre outubro de 2018 e maio de 2019, com a finalidade de testar o DRMD. A base de contida nesta análise inicial é inferior a um ano, entretanto os dados da radiação difusa têm sido importantes para dar continuidade ao desenvolvimento do projeto de pesquisa em realização.

Dados teóricos de radiação no topo da atmosfera ( $I_T$ ) são apresentados na Fig. 10. Os dados de radiação no topo são importantes pois é possível comparar graficamente e matematicamente se a radiação global e difusa estão dentro dos limites esperados, assim como para a determinação do índice de claridade  $K_t$ . Os dados de radiação global  $I_G$  foram coletados pelo sensor CNR1, listado na Tab. 1.

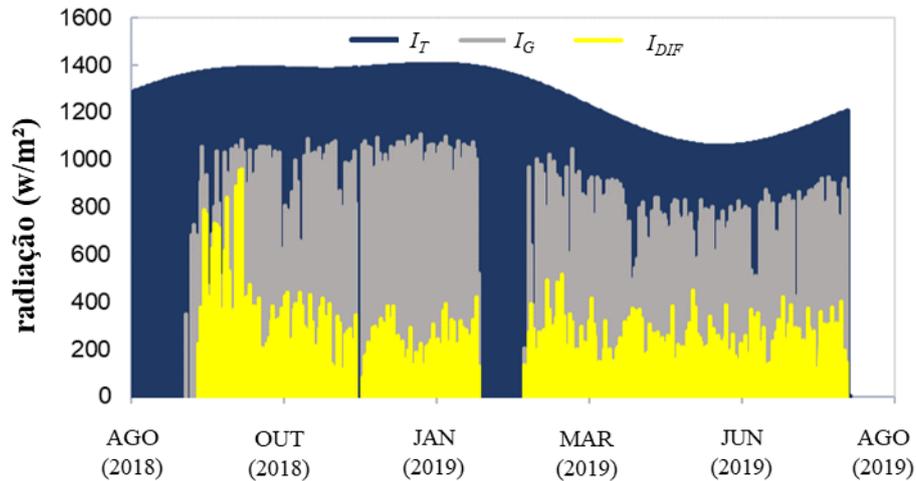


Figura 10 - Dados brutos Radiação no topo  $I_T$ , radiação global  $I_G$  e radiação difusa  $I_{DIF}$ .

Observa-se que no início da coleta de dados de  $I_{DIF}$  os valores estavam próximos aos dados  $I_G$ . Este fato se deve ao processo de calibração inicial, em que os parâmetros ainda estavam sendo ajustados, juntamente com todo o conjunto mecânico da mesa. No início do ano de 2019 houve a necessidade desligar todos os sensores para manutenção da infraestrutura de coleta de dados, e por isso observa-se um período sem dados de medição das componentes de radiação solar. Os dados de radiação global são dados experimentais coletados pelos sensores instalados na PAMB-LabMiM.

Para demonstrar as condições do céu na cidade de Salvador, dados do índice de claridade diário ( $K_T^d$ ) foram obtidos através da relação entre a  $I_G$  e a radiação no topo da atmosfera  $I_T$ . Okogbue et al., (2009), em seu trabalho propôs um critério de para avaliação da claridade do céu, e estabeleceu 3 classes. Para ( $K_T^d < 0,35$ ) é considerado céu encoberto ou nublado; céu parcialmente nublado ( $0,35 \geq K_T^d \geq 0,65$ ); ( $K_T^d > 0,65$ ) considera-se céu claro. A distribuição de frequência de  $K_T^d$  para Salvador é assimétrica negativa com modo igual a zero e assimetria de -1,28. No período de 2010-2018, 37% dos dias são classificados como céu claro, 54% como parcialmente nublado e 9% como nublado.

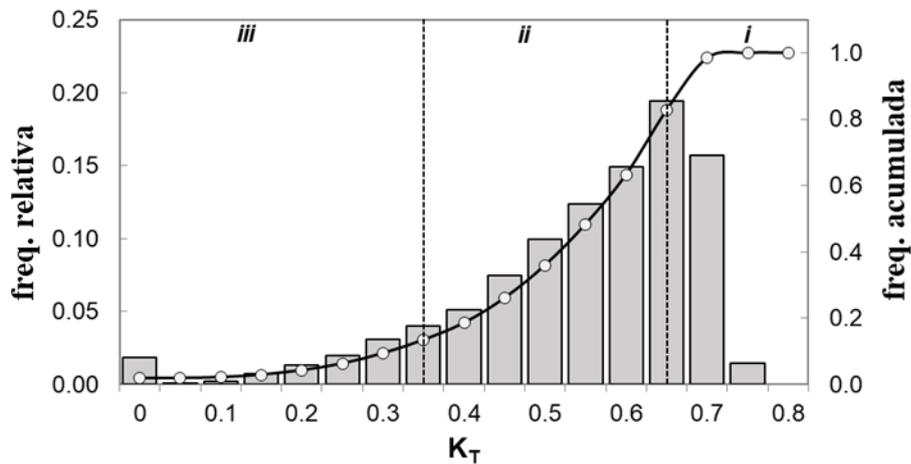


Figura 11. Distribuição da frequências relativa e acumulada de valores diários de índice de claridade para salvador com classificação de condições de céu: i) ( $K_T^d < 0,35$ ) - céu nublado; ii) ( $0,35 \geq K_T^d \geq 0,65$ ) - céu parcialmente nublado; iii) céu claro - ( $K_T^d > 0,65$ ). Foram considerados 3.246 dias entre outubro de 2000 a dezembro de 2018.

A partir dos dados de  $I_{DIF}$  e  $I_G$  associados aos dados de  $I_T$  é possível aplicar o modelo de Liu e Jordan (1960) e comparar com os dados apresentados na Fig. 11. Para tal análise escolheu-se aleatoriamente uma serie de dados de  $I_{DIF}$  e  $I_G$  de modo a classificar os dias quanto ao índice de claridade. Devido ao efeito da isotropia os dados da radiação difusa sofreram correção, devido a largura da faixa (banda) bloquear parte da própria radiação difusa. A correção foi realizada utilizando o mesmo método realizado por Oliveira et., al 2002. A Fig. 12 apresenta a análise dos dados de radiação medidos pelo LabMiM, com destaque para a medição da radiação difusa pelo dispositivo fabricado pelo projeto de pesquisa. A análise reforça a qualidade de dados do LabMiM e da eficiência de medição do dispositivo MDRD.

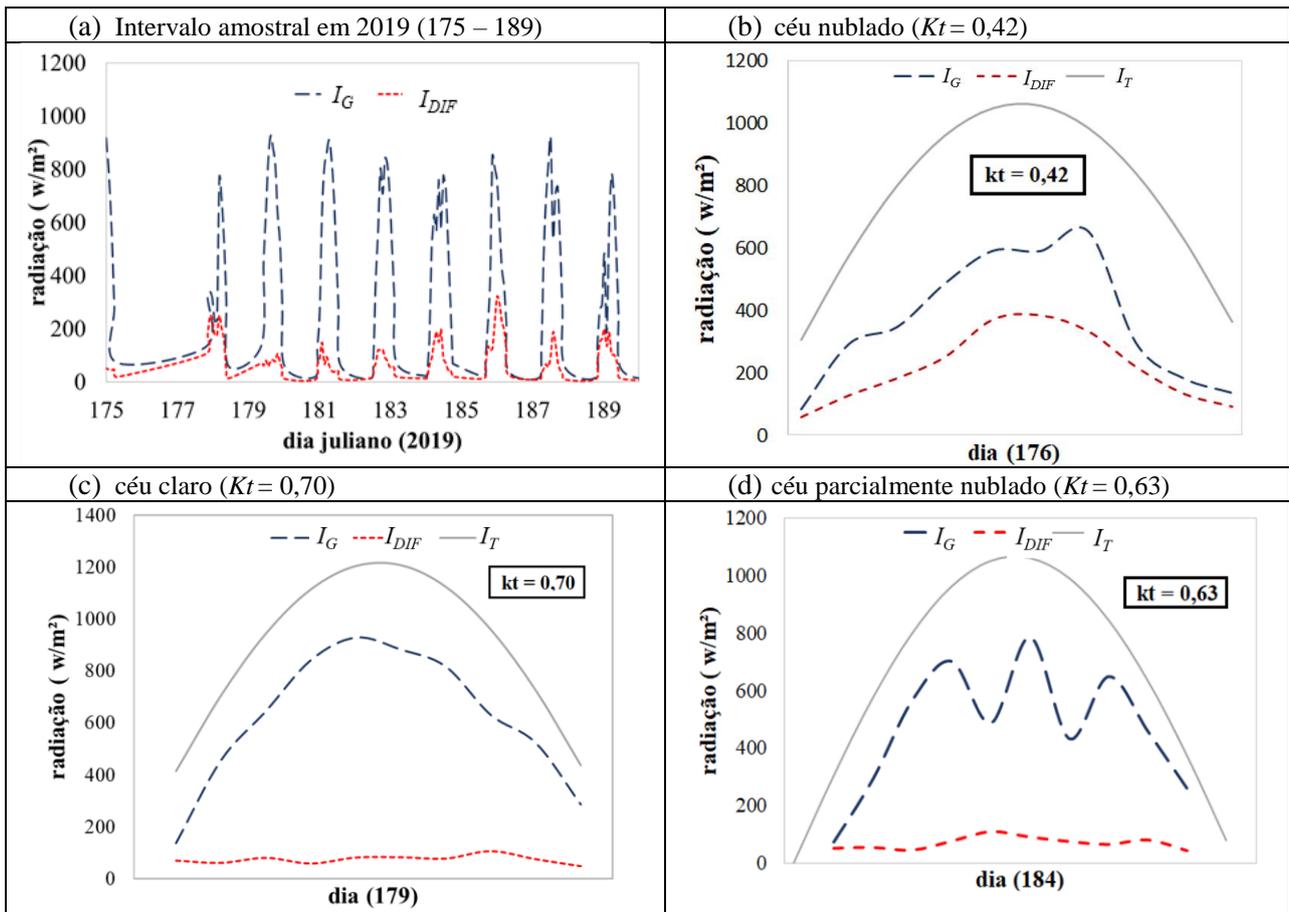


Figura 12 - Gráfico intervalo amostral do dia juliano em 2019 (175 – 189)

## CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou de forma objetiva o projeto de construção e montagem do dispositivo de medição de radiação difusa DRMD, que consiste em uma modificação e modernização do sistema desenvolvido por Oliveira et al., (2002). O dispositivo foi desenvolvido pelos autores no LabMiM da UFBA em Salvador, que coletou dados de radiação global ( $I_G$ ) e radiação difusa ( $I_{DIF}$ ) entre os anos de 2018 e 2019. Tais componentes foram comparadas com a radiação no topo ( $I_T$ ) com a finalidade de correlacionar os dados com a classificação e as condições de céu claro, parcialmente nublado e nublado. Os resultados preliminares obtidos demonstram que o dispositivo construído é funcional e de simples complexidade de construção para coleta de dados de  $I_{DIF}$ . O dispositivo se mostra inédito. Além disso não foram encontrados registros de medição de  $I_{DIF}$  na cidade Salvador quer seja pela iniciativa público ou privada. Os dados da componente difusa são importantes para as avaliações de sistemas fotovoltaicos, que estão em crescente demanda no NEB. Em etapa futura pretende-se acoplar o sistema de motor de passo e realizar a comparação dos dados medidos empiricamente com dados obtidos através da utilização de modelos para a cidade de Salvador.

## REFERÊNCIAS

- Chandrasekaran, J., Kumar, S., 1994. Hourly diffuse fraction correlation at a tropical location. *Solar Energy*, v. 53, n. 6, p. 505-510.
- De Jong, P., Sánchez, A. S., Esquerre, K., Kalid, R. D. A., 2013. Solar and wind energy production in relation to the electricity load curve and hydroelectricity in the northeast region of Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 23, p. 526-535,
- De Souza, J. L., Lyra, G. B., Dos Santos, C. M., Junior, R. A. F., Tiba, C., Lyra, G. B., & Lemes, M. A. M., 2016. Empirical models of daily and monthly global solar irradiation using sunshine duration for Alagoas State, Northeastern Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 14, 35-45.
- Drummond, A. J., 1956. On the measurement of sky radiation. *Archiv Für Meteorologie, Geophysik Und Bioklimatologie, Serie B*, 7(3-4), 413-436.
- Iqbal, M., 1983. *An introduction to solar radiation*.

- Lima, F. J., Martins, F. R., Pereira, E. B., Lorenz, E., & Heinemann, D., 2016. Forecast for surface solar irradiance at the Brazilian Northeastern region using NWP model and artificial neural networks. *Renewable Energy*, 87, 807-818.
- Liu, B. Y., & Jordan, R. C., 1960. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar energy*, 4(3), 1-19.
- Martins, D., Escobedo, J. F., Dal Pai, E., de Oliveira, A. P., & Soares, J., 2012a. Análise sazonal das frações solares  $K_t$ ,  $K_{Dh}$  e  $K_d$  da radiação global em Botucatu/SP/Brasil. *Revista Brasileira de Energia Solar*, 3(1).
- Martins, F. R., Abreu, S. L., & Pereira, E. B., 2012b. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. *Energy Policy*, 48, 640-649.
- Okogbue, E. C., Adedokun, J. A., & Holmgren, B., 2009. Hourly and daily clearness index and diffuse fraction at a tropical station, Ile-Ife, Nigeria. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(8), 1035-1047.
- Oliveira, A. P., Machado, A. J., & Escobedo, J. F., 2002. A new shadow-ring device for measuring diffuse solar radiation at the surface. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 19(5), 698-708.
- Pereira, E. B., Abreu, S. L., Stuhlmann, R., Rieland, M., & Colle, S., 1996. Survey of the incident solar radiation in Brazil by use of Meteosat satellite data. *Solar Energy*, 57(2), 125-132.
- Rehman, S., & Halawani, T. O., 1997. Global solar radiation estimation. *Renewable Energy*, 12(4), 369-385.
- Robinson, N., & Stoch, L., 1964. Sky radiation measurement and corrections. *Journal of Applied Meteorology*, 3(2), 179-181.
- Tiba, C., Gallegos, H. G., Fraidenraich, N., & Lyra, F. J. M., 1999. Technical note On the development of spatial / temporal solar radiation maps: a Brazilian case study. *Renewable energy*, 18(3), 393-408.

### DIFFUSE RADIATION MEASUREMENT DEVICE IN SALVADOR CITY

**Abstract.** Northeastern Brazil (NEB) is the region with the highest solar potential in Brazil. The incentive for installation of photovoltaic systems in the country and the increase of studies related to solar radiation for electric power generation has been growing more actively in this decade. Solar panel efficiency studies are needed to make better use of this precious renewable resource. To enable efficiency studies on photovoltaic panels, it is necessary to have the data of global solar radiation ( $I_G$ ) and diffuse radiation ( $I_{DIF}$ ). Automated stations from government institutions such as the National Institute of Meteorology (INMET) measure and make available only  $I_G$  data. For the collection of diffuse radiation data, it was proposed in this paper the construction of a measuring device, based mainly on the shading ring. The built device was functional and contributed to the data collection of  $I_{DIF}$  in the city of Salvador. A brief sky condition analysis was performed from the theoretical radiation data at the top of the atmosphere ( $I_T$ ) and data collected from  $I_G$  and  $I_{DIF}$ . The Data analysis allowed the classification of the sky condition according to the lightness index ( $K_t$ ).

**Key words:** Solar Energy, Diffuse radiation, Measurement device