

# ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE REFERÊNCIA – INSTALAÇÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

André Luiz de O. Lira – andre@ctgas.com.br

Bruno de Lima Soares – brunosoares@ctgas.com.br

Samira de Azevedo Santos – samira@ctgas.com.br

Laboratório de Mapas e Dados de Recursos Energéticos, Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis

**Resumo:** A utilização da energia solar no Brasil vem aumentando gradativamente, movida principalmente pelo alto preço da energia elétrica e a queda do preço dos equipamentos. Um grande gargalo ainda presente nos projetos de energia solar no Brasil é a falta de medição do recurso disponível. Com o advento dos leilões de energia solar, os critérios de aceitação de novos projetos estão cada vez mais rigorosos e, a partir de 2016, já exigem medição no local da futura instalação, assim como já acontece em projetos de energia eólica. O objetivo deste projeto é apresentar os passos necessários para a instalação de uma estação de medição segundo padrão de estações de referência do projeto SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais), seguindo todas as lições aprendidas e melhores práticas e enumerar as atividades relevantes para a operação e manutenção de estações.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Medição de recurso Solar, Estação Solarimétrica.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente vem despontando um crescente incentivo ao uso de fontes de energia limpas, onde os danos ao meio ambiente são minimizados e constitui-se uma forma alternativa e complementar aos procedimentos de geração de energia elétrica usuais. Nesse meio, as fontes de energia renováveis como a solar e a eólica estão, cada vez mais, sendo necessárias, utilizadas e desenvolvidas. Tanto a energia solar quanto a energia eólica têm por característica uma elevada variabilidade temporal. Essa variabilidade está associada aos padrões meteorológicos atuantes. Portanto, conhecer o comportamento climatológico de uma região é de suma importância para o desenvolvimento de projetos que visam a exploração dessas fontes de energia.

No atual quadro de desenvolvimento da energia solar no Brasil (micro e minigeração distribuída, leilões de energia e projetos de P&D) vêm-se demandando de forma crescente as medições de recurso solar, pois ainda não é suficiente a quantidade de estações solarimétricas distribuídas no Brasil e, das poucas existentes, há uma restrição quanto à disponibilidade dos dados brutos.

A medição em campo do recurso solar tem se tornado cada vez mais importante, uma vez que, a partir de 2016, segundo exigência da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, todos os projetos que foram qualificados para a participação de leilões de energia deverão ter no mínimo 1 (um) ano de medição. Isso fez com que o conhecimento e a medição do recurso solar se tornassem um diferencial competitivo entre empresas.

O conhecimento dos níveis de radiação solar que atingem a superfície é um pré-requisito para várias aplicações da energia solar na indústria, na agricultura e em outras atividades relevantes sob o ponto de vista socioeconômico. Para obter esse conhecimento é necessário mapear o comportamento dos dados disponíveis na superfície. Esse procedimento em todo território nacional é inviável, pois exige incentivos tecnológicos que nem sempre são atendidos, além da mão de obra especializada para instalação e manutenção dos instrumentos de radiação (Varela e Pereira, 2006). Os dados gerados na estação contribuem não só para a confecção do atlas de radiação solar, mas é também uma fonte de dados para o ensino, a pesquisa ou qualquer outra área que tenha interesse em levantamentos meteorológicos e climáticos (Silva e Carvalho, 2008).

O CTGAS-ER participa como executor do projeto intitulado “Estudo da Geração Fotovoltaica Centralizada e seu Impacto no Sistema Elétrico” que faz parte da Chamada Estratégica 13/2011 da ANEEL - “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira” e dentre as suas atividades está em instalar 06 (seis) estações solarimétricas de referência no território nacional. O objetivo deste artigo é apresentar a metodologia de instalação, operação e manutenção de uma estação solarimétrica e as lições aprendidas deste processo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Composição da Estação Solarimétrica

A instalação de uma estação solarimétrica exige cuidados quanto à instrumentação e os componentes envolvidos na coleta das medidas solares. Foi usado como referência o Projeto Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – SONDA, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. O projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma base de dados completa, integrada e de alta confiabilidade que contemple as necessidades dos

setores da sociedade envolvidos com a pesquisa, o desenvolvimento, o planejamento e o investimento em uso e aplicações de energias renováveis, principalmente, a energia solar e eólica (Martins e Pereira, 2005).

O programa de controle de qualidade dos dados também segue a metodologia desenvolvida pelo INPE, pois os dados desta estação irão complementar a base de dados do Projeto SONDA, onde utiliza os critérios da *Baseline Solar Radiation Network* - BSRN que desde 2004 foi denominada rede de referência global para a radiação em superfície.

O CTGAS-ER realiza a instalação, operação e manutenção das estações e faz a coleta dos dados sistematicamente, com o intuito de acompanhar o comportamento das medições e identificar o mais breve possível alguma falha, para que não sejam feitas medições incorretas, provocando a perda de dados válidos.

Com o intuito de garantir uma qualidade mínima nas medições, a EPE estabeleceu critérios que devem ser atendidos para as faixas de medição e as classes dos instrumentos que compõem a estação de medição. Em complementação à estação de medição, utiliza-se sempre um *datalogger*, equipamento que garante o armazenamento em sua memória interna e poderá ser acessado local ou remotamente.

A estação apresentada neste artigo está instalada na Universidade de São Paulo - USP na cidade de Pirassununga-SP e é composta por os seguintes instrumentos:

**Piranômetro** (Fig. 1): são sensores que medem a Radiação Solar Global ( $W/m^2$ ) na faixa de 200 a 3600 nanômetros. Este tipo de instrumento pode ser utilizado para medir tanto a Radiação Global (Direta + Difusa) quanto unicamente a Radiação Difusa. Para a medição da radiação difusa, há um dispositivo de sombreamento na base do rastreador solar, impedindo incidência direta de radiação. A estrutura do instrumento é composta de abóbada (cúpula) de vidro, corpo do metal, sensor preto, tela da radiação, nível e cabo (Instruction Manual\_model CMP22 Kipp & Zonen). O modelo instalado foi o CPM 22.

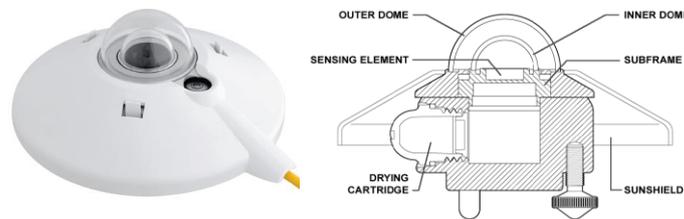


Figura 1 - Piranômetro Kipp & Zonen Série CPM.

**Pirgeômetro** (Fig. 2): também denominado Radiômetro Infravermelho de Precisão é o instrumento utilizado para medir a Radiação de Onda Longa (ROL), na faixa de 4,2 a 45 micrometros. É constituído por uma termopilha enegrecida com uma junção em contato com a base de metal do instrumento e outra junção exposta à atmosfera. O balanço de fluxo térmico da superfície receptora da termopilha somente considera o fluxo de radiação térmica para realizar suas medidas. A radiação medida pelo elemento sensor é a soma entre a ROL que atinge a sua cúpula e a ROL emitida pelo próprio radiômetro. Desta forma é necessário medir a temperatura interna do sensor, para inferir apenas a ROL incidente (Instruction Manual\_Model CGR4 Kipp & Zonen).

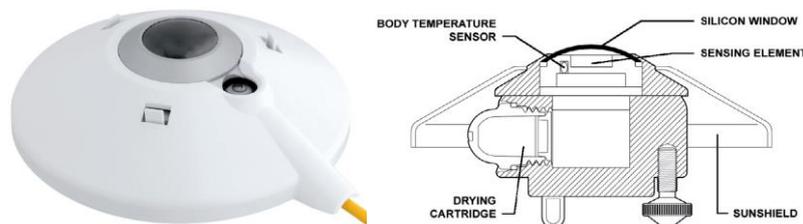


Figura 2 - Pirgeômetro Kipp & Zonen Modelo CGR 4.

**Pireliômetro** (Fig. 3): mede a radiação direta. É o equipamento que merece a maior atenção, pois é necessário garantir o seu constante alinhamento com o sol para seu funcionamento correto. Sua faixa espectral é de 200 a 4000 nanômetros, possuindo uma abertura do feixe em torno de 55°. Possui uma estrutura que minimiza a influência da temperatura do ambiente. Na abertura dianteira existe uma janela de quartzo para proteger o sensor e para atuar como filtro na radiação incidente. (Instruction Manual\_Model CHP1 Kipp & Zonen).



Figura 3 - Pireliômetro Kipp & Zonen Modelo CHP 1.

**Termohigrômetro** (Fig. 4a): permite obter medidas de temperatura e umidade em um único instrumento. Combina o sensor capacitivo de alta precisão para a medida de umidade relativa com uma resistência de platina para a medida de temperatura em um único sensor, oferecendo opções de saída de 0 a 1 V<sub>dc</sub> ou 4 a 20 µA. O sensor é capaz de medir a temperatura na faixa de -50° a 50°C e a umidade de 0 a 100%, sendo estas suas unidades conforme o SI. Este sensor possui uma proteção de plástico ou alumínio quando instalado a um abrigo meteorológico, evitando que fatores como chuva, vento e raios solares interfiram no funcionamento correto (Instruction Manual\_Model 41382VC/VF,0-1 V output – RMYOUNG). O abrigo do instrumento (Fig. 4b) possui um sistema de ventilação para garantir que a temperatura interna do abrigo seja igual à temperatura externamente.



Figura 4 - Sensor de temperatura umidade modelo 41382 (a) e abrigo aspirado RMYOUNG (b).

**Barômetro** (Fig. 5): mede a pressão atmosférica na faixa de 500 a 1100 Mbar (Instruction Manual\_Model PTB110 Vaisala).



Figura 5 - Barômetro Vaisala Modelo PTB110.

**Anemômetro ultrassônico 2D** (Fig. 6): este anemômetro 2D realiza a medida da velocidade e direção do vento no mesmo sensor. Por não possuir partes móveis como os sensores mecânicos, são menos propícios a manutenções para troca de peças de reposição, minimizando os custos (Instruction Manual\_Model WINDSONIC1-L Campbell Scientific)



Figura 6 - Anemômetro Ultrassônico 2D Campbell Scientific modelo windsonic1-L.

**Pluviômetro** (Fig. 7): mede a precipitação pluviométrica. Possui um funil de 7,87” de diâmetro onde coleta a água da chuva que cai em um êmbolo que quando cheio gera um pulso para um valor fixo de volume (Instruction Manual\_Model TB4 Modelo Campbell Scientific).



Figura 7 - Pluviômetro Campbell Scientific Modelo TB4.

**Rastreador Solar** (Fig. 8): possui rastreamento em dois eixos, GPS para localização automática das coordenadas e medidor de tempo. No rastreador são acoplados o sensor de radiação direta em sua lateral e até três radiômetros em uma mesa superior. O rastreador garante o alinhamento em relação ao sol para a obtenção da radiação direta e para o sombreamento de sensores instalados na mesa, como por exemplo, para a medição da radiação difusa (Instruction Manual – Solys 2 Sun Tracker Kipp & Zonen).



Figura 8 - Rastreador Solar Kipp & Zonen Modelo Solys 2.

**Sistema de Aquisição de Dados** (Fig. 9a): O *datalogger* CR3000 armazena e coleta os dados medidos pelos sensores, onde podem ser configurados o tempo de aquisição, valores médios, desvio padrão, máximo, mínimo entre outros. Seu acesso local é feito por cabo físico, entretanto é utilizada uma interface ethernet NL115 (Fig. 9b) para acesso via internet. O CR3000 já possui baterias internas para sua alimentação caso haja interrupção da energia na rede elétrica e também possui uma tela local onde podem ser acessados os dados e realização de algumas configurações.



Figura 9 - Datalogger Campbell Scientific Modelo CR300 (a) e Interface ethernet NL115 (b).

## 2.1 Metodologia de Instalação

- É de extrema importância verificar o correto funcionamento de todos os equipamentos em laboratório, antes de ser levado para a instalação em campo, pois facilita o reparo caso identificada alguma falha nos instrumentos. A configuração do *datalogger* e todas as ligações elétricas internas da caixa que o abriga (Fig. 10) sempre são feitas em bancadas de trabalho, onde se pode contar com um maior número de ferramentas e utensílios para montagem, acarretando numa maior praticidade no momento da instalação em campo.



Figura 10 - Caixa do *datalogger*.

- A montagem em campo de uma estação poderá ser feita de diversos locais como lajes, torres, plataformas, dentre outros; entretanto os locais, de preferência, devem estar isentos de sombreamento do nascer ao pôr do sol. A estação em questão foi instalada em uma bancada de madeira com estrutura metálica (Fig. 11a) com 1,25m de altura.
- Após a instalação da bancada, dá-se início a fixação da caixa do *datalogger* (Fig. 11b) e caixa de passagem dos cabos que abriga o excesso de cabos dos instrumentos (Fig. 11c).
- A base-tripé (Fig. 11d) do rastreador é posicionada na bancada e orientada para o Leste, logo após é posicionado o rastreador (Fig. 11d) com a indicação E (East) para o Leste.

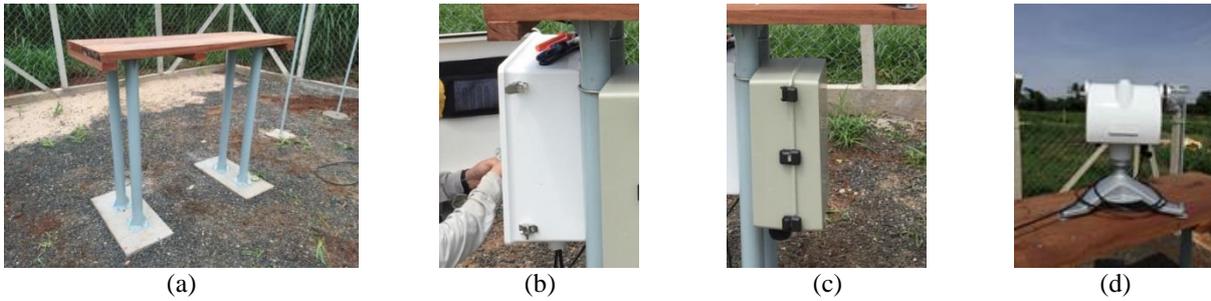


Figura 11 – Bancada (a), caixa do datalogger (b), caixa de passagem dos cabos (c), rastreador e sua base-tripé (d).

- Com a alimentação elétrica do rastreador, pode-se verificar o alinhamento inicial através da mira lateral (Fig. 12a).
- Logo após a orientação, são instaladas as hastes de sombreamento (Fig. 12b) que são responsáveis pelo sombreamento em dois sensores (pirgeômetro e piranômetro de radiação difusa) na mesa superior.
- Em seguida fixa-se a mesa superior e as unidades de ventilação (Fig. 12c).

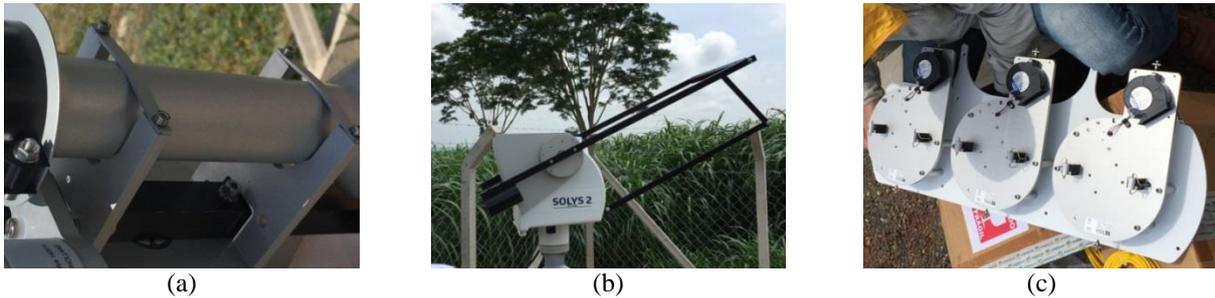


Figura 12 - Mira do rastreador (a), Haste de sombreamento (b) e Mesa superior com unidades de ventilação (c).

- O piranômetro de radiação difusa e o pirgeômetro são instalados nas unidades de ventilação das extremidades, pois são os instrumentos que serão sombreados (Fig. 13a e 13c, respectivamente). O piranômetro de radiação global no centro (Fig. 13b), pois não será sombreado, todos em suas respectivas unidades de ventilação.
- Após a fixação dos instrumentos da mesa superior, é fixado o Sun sensor (Fig. 13d) que se trata de um ajuste fino para a radiação direta e logo após é instalado o Pireliômetro (Fig. 13e).

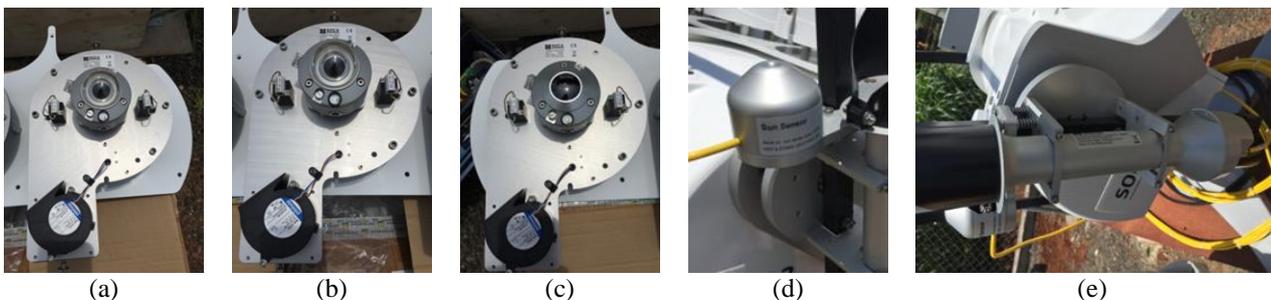


Figura 13 - Sensor Radiação Difusa (a), Sensor Radiação Global (b), Sensor Radiação Onda Longa (c), Sun Sensor (d) e Sensor Radiação Direta (e).

- Com os radiômetros já instalados no rastreador, são instalados os sensores periféricos: termohigrômetro (Fig. 14a), Pluviômetro (Fig. 14b) e Anemômetro ultrassônico 2D (Fig. 14c). O termohigrômetro e o pluviômetro são instalados a cerca de 1m de altura. A altura normativa para a instalação do anemômetro é de 10m, entretanto isso eleva o custo de instalação, visto a necessidade de uma torre específica. Neste caso, optou-se por instalar o anemômetro a três metros, pois os futuros empreendimentos próximos terão essa altura e os dados medidos serão utilizados para o dimensionamento das cargas de vento.
- Após os sensores estarem montados fisicamente, é realizada a passagem de todo o cabeamento (Fig. 14d). Tem que se levar em conta que o rastreador realiza movimento nos dois eixos, portanto é importante se certificar que os cabos fiquem livres para uma volta em seu eixo de azimute em 540°, garantindo que não ocorra rompimento de cabos.

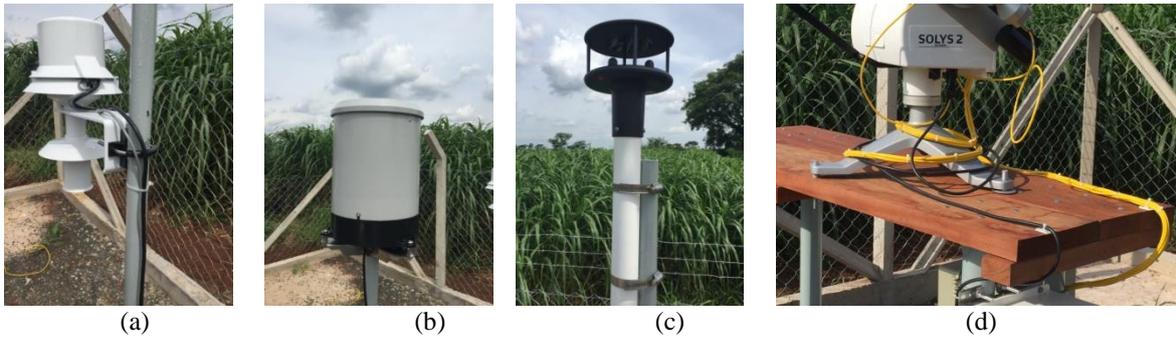


Figura 14 – Termohigrômetro (a), Pluviômetro (b), Anemômetro 2D (c) e Cabeamento livre para movimento do rastreador (d).

- Com a conclusão da instalação dos sensores e de todo o cabeamento, inicia-se o processo de nivelamento de todo o conjunto. A ordem que deve ser seguida é: nivelamento do tripé do rastreador (Fig. 15a), verificação da bolha de nivelamento do corpo do rastreador (Fig. 15b), radiômetros da mesa superior: radiação difusa (Fig. 15c), radiação global (Fig. 15d) e radiação de onda longa (Fig. 15e).

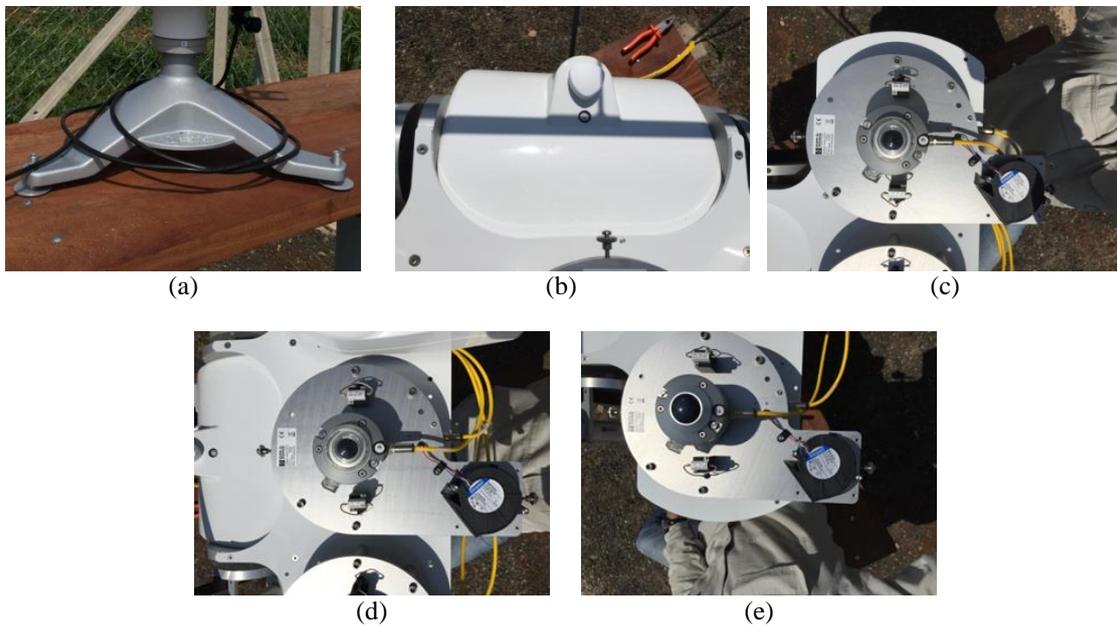


Figura 15 - Base-tripé (a), Bolha de nivelamento do rastreador (b), Sensor radiação difusa (c), Sensor radiação global (d) e Sensor radiação onda longa (e).

- Depois de nivelado todos os sensores da mesa superior, é feito o alinhamento, quando necessário, do pireliômetro através de uma mira lateral (Fig. 16) e verificação dos elementos de sombreamento das hastes.



Figura 17 - Alinhamento do rastreador e do pireliômetro com a identificação das miras.

- A última etapa é conectar os sensores ao *datalogger* (Fig. 18) e verificar as leituras dos sensores para identificar alguma inconsistência nos valores.



Figura 18 - Ligação elétrica dos sensores ao *datalogger*.

## 2.1 Metodologia de Operação e Manutenção

- Acompanhamento diário para verificação do alinhamento e do rastreador e pireliômetro, garantindo o sombreamento no piranômetro da radiação difusa e no pirgeômetro;
- Verificação de presença de qualquer tipo de particulado ou impurezas nas lentes dos radiômetros, onde garantirá que todo espectro que chegar sensibilizará o sensor abaixo das lentes. Para limpeza das lentes, utiliza-se um tecido macio, tipo flanela;
- Troca dos filtros das unidades de ventilação;
- Troca da sílica existente nos radiômetros, que garante uma umidade baixa dentro do sensor;
- Verificação se há alguma obstrução no funil do pluviômetro, certificando-se que não há impedimentos para a entrada de água da chuva;
- Limpeza do abrigo aspirado do termohigrômetro sempre que verificar a necessidade;
- Observar se os sensores do anemômetro não estão obstruídos;
- Criação de rotina para a coleta dos dados e verificação preliminar dos dados coletados, para que logo que identificado algum problema de medição, uma manutenção específica seja realizada e que não acarrete em perda de dados.

## 3. CONCLUSÕES

Com o advento da radiação solar como uma fonte de energia economicamente viável há uma demanda crescente em empreendimentos que utilizam essa fonte de energia. Para o dimensionamento correto de futuros projetos é imprescindível o conhecimento do recurso disponível. Por se tratar de uma fonte energética com alta variabilidade, é importante ter um sistema de medição do recurso confiável.

A qualidade dos dados medidos depende diretamente de uma correta instalação, o constante acompanhamento da operação da estação e realização de rotinas de manutenção. Na instalação é importante verificar em laboratório o funcionamento dos instrumentos, mesmo antes de leva-los a campo. Em campo deve-se ter atenção quanto ao nivelamento de todos os instrumentos, o sombreamento dos sensores que medem radiação difusa e radiação de onda longa e garantir o alinhamento constante do pireliômetro. Na operação é importante criar uma rotina para a coleta de dados e verificar preliminarmente a qualidade dos dados medidos a fim de evitar perda excessiva de dados.

### *Agradecimentos*

Agradecimento ao CTGAS-ER pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho, à PETROBRAS e à Baixada Santista SA pelo financiamento do Projeto e ao Programa P&D da ANEEL.

### REFERÊNCIAS

- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; YAMASHITA, C.; PEREIRA, S. V.; NETO, S. L. M. Base da dados Climato-ambientais aplicados ao setor energético – Projeto Sonda. ANAIS XII SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia/GO, 2005.
- BSRN, Baseline Solar Radiation Network – Quality Assurance of Database World Meteorological Organization - <http://www.bsrn.awi.de/>
- Campbell Scientific Brasil – Precisão científica em medidas - <http://www.campbellsci.com.br>

- CHAGAS, R. C.; MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B.; NETO, S. M.; ANDRADE, E. S.; GARCIA, S.; JR, A. B.; NOGUEIRA, J. L. M. Procedimentos de validação de dados de radiação solar da rede Estações Projeto Sonda. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, CBMET. Edição XIV – Florianópolis, 2006.
- Instruction Manual - CGR4 Pyrgeometer - Kipp & Zonen.
- Instruction Manual - CHP1 Pirheliometer - Kipp & Zonen.
- Instruction Manual - CMP 22 Pyranometer - Kipp & Zonen.
- Instruction Manual - CR3000 Micrologger – Campbell Scientific.
- Instruction Manual - Model 41382VC/VF - Relative Humidity/Temperature Probe, RMYOUNG.
- Instruction Manual - Model TB4 Modelo Campbell Scientific.
- Instruction Manual - Model WINDSONIC1-L Campbell Scientific.
- Instruction Manual - NL150 Network Link Interface.
- Instruction Manual - PTB110 Barometric Pressure Sensor – Vaisala.
- Instruction Manual – Solys 2 Sun Tracker - Kipp & Zonen.
- OLIVEIRA, I. R.; THOMAZ JR, J. C.; NOGUEIRA, J. L. M.; MELO, J. M. Princípios da Instalação de uma Estação Solarimétrica – SONDA Uma Visão Teórica e Preliminar –Parte I. IV Encontro Sul-Brasileiro de Meteorologia, Pelotas, 2011
- SILVA, F. R. da; CARVALHO, M. J. M. de. Implantação da Estação Solarimétrica de Natal-RN, II CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR E III CONFERÊNCIA REGIONAL LATINO-AMERICANA DA ISES, 2008.

### **STANDARD SOLAR ENERGY MEASUREMENT STATION – INSTALLATION, OPERATION AND MAINTENANCE**

**Abstract:** *The usage of solar energy in Brazil is increasing, mainly driven by the high price of electricity and the reduction of equipment costs. A great obstacle that we face in solar energy projects in Brazil is the lack of solar resource measurements. The new projects acceptance criteria for energy auctions are becoming more strict, for example, after 2015, every registered project must have measurement at the site of the future facility, as already happens in wind power projects. The objective of this report is to present the steps required for setting up a standard measuring station according to SONDA project (System of National Environmental Data Organization), following all the lessons learned and best practices and also list the important activities related to operation and maintenance.*

**Keywords:** *Solar Energy, Solar Energy Measurement, Radiation.*