



PRINCÍPIOS BÁSICOS DA INSTALAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA

- SONDA

UMA VISÃO TEÓRICA E PRELIMINAR - PARTE I

Ianuska Ramos Oliveira¹
José Celso Thomaz Jr²
Jorge Luis M. Nogueira³
Jorge M. de Melo⁴

¹Laboratório de Instrumentação Meteorológica – LIM. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Cachoeira Paulista – SP, Fone: (0xx12) 3186 9480.

ianuska.oliveira@cptec.inpe.br

²Laboratório de Instrumentação Meteorológica – LIM. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Cachoeira Paulista – SP, Fone: (0xx12) 3186 9480.

celso.thomaz@cptec.inpe.br

³Laboratório de Instrumentação Meteorológica – LIM. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Cachoeira Paulista – SP, Fone: (0xx12) 3186 9480.

jorge.nogueira@cptec.inpe.br

⁴Laboratório de Instrumentação Meteorológica – LIM. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Cachoeira Paulista – SP, Fone: (0xx12) 3186 9480.

Jorge.melo@cptec.inpe.br

Abstract: This paper describe the sensors used in Radiation Station Measurements in the SONDA project. The objective is to inform the care to be applied and maintenance in the instruments, emphasizing clearly and objectively the importance of the procedures to the quality of data collected as part of the project.

Resumo: O presente trabalho descreve os sensores utilizados nas Medidas das Estações de Radiação do projeto Sonda. O objetivo é informar os cuidados a serem aplicados e a manutenção a estes instrumentos, ressaltando de forma clara e objetiva a importância dos procedimentos para a qualidade dos dados coletados como parte do projeto.

1- Introdução

O sol é uma fonte de energia abundante, renovável e permanente, que tem um importante papel, pois possibilita uma interação entre a atmosfera e a superfície mantendo um equilíbrio no meio natural. A importância científica da radiação solar se deve ao controle que ela exerce no balanço térmico da atmosfera e nos processos de circulação da atmosfera e oceanos. Ela é determinante sobre o comportamento climático global e fenômenos meteorológicos. Por convenção a radiação proveniente do sol tem comprimento de onda menor que 4,0 μm (micrometros) enquanto que corpos naturais possuem comprimento de onda maior de 4,0 μm o que os classifica em onda curta e onda longa, respectivamente. Segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI) a energia solar emitida é medida em watts por metro quadrado (w/m^2).

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 se ter 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, G. H.; Pereira, O. S., 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, F. R. da; Carvalho, M. J. M. de 2008).



Sendo assim, nosso trabalho teve como objetivo principal descrever, de forma sucinta os instrumentos e procedimentos necessários para a instalação e manutenção de uma estação solarimétrica.

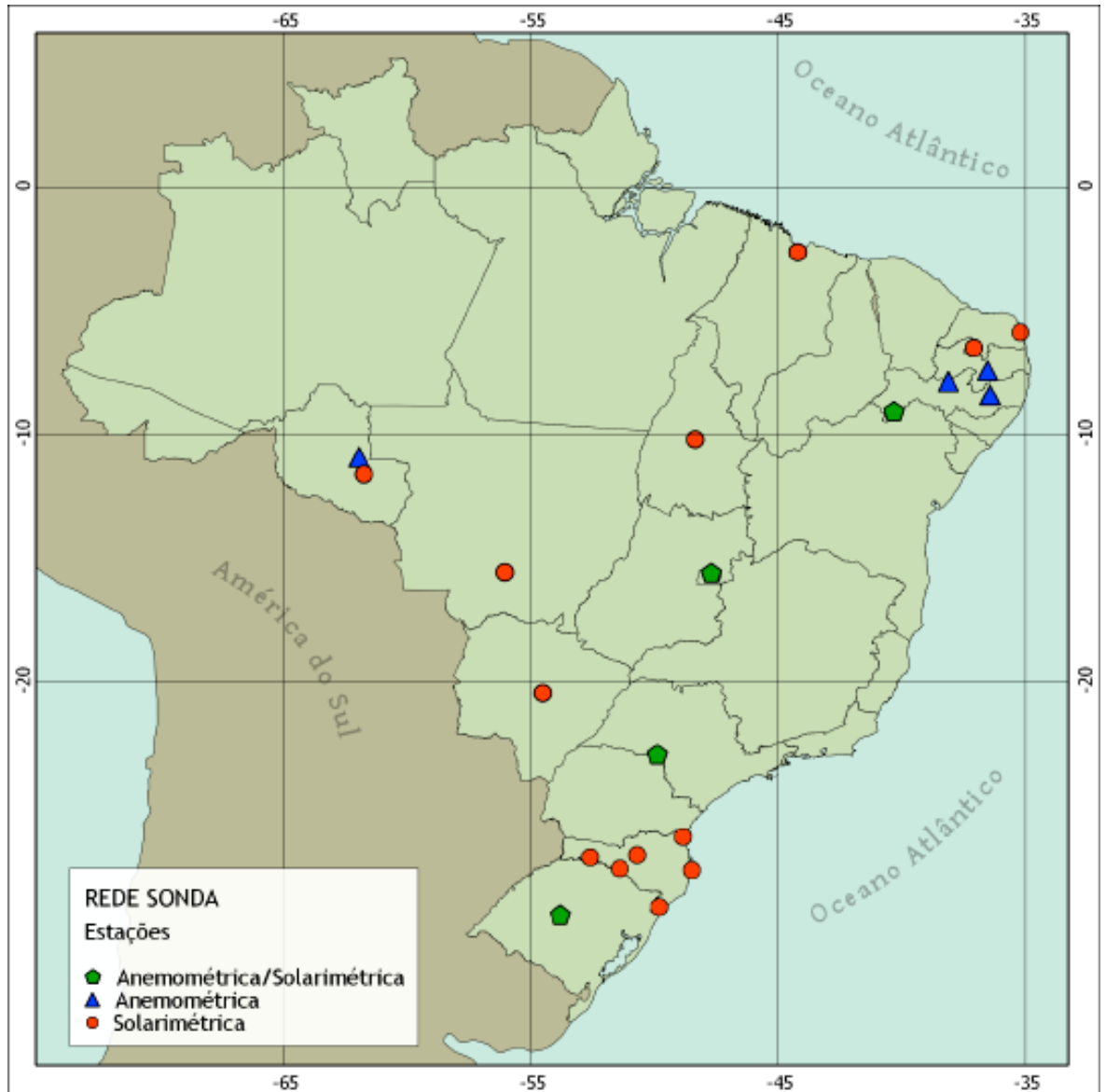


Figura : Localização das estações da rede SONDA.

2- Materiais e Métodos

A instalação de uma estação solarimétrica exige cuidados quanto à instrumentação e os componentes envolvidos na coleta das medidas solares. Foi usado como fonte o Projeto- Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – SONDA. 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, F. R.; Pereira, E. B.; 2005).



O programa de controle de qualidade dos dados baseia-se em critérios definidos pela *World Meteorological Organization (WMO)* para a rede *Baseline Solar Radiation Network (BSRN)* (Martins, F. R.; Rodrigues, A.; 2010). A BSRN é um projeto que tem por objetivo detectar importantes mudanças no campo de radiação e que recentemente (2004) foi denominado como rede de referência global para a radiação em superfície (<http://www.bsrn.awi.de>). A qualificação dos dados obtidos servirá como referência para ajustes e manutenções realizadas nos sensores (Chagas, R. C.; 2006). O manual da WMO auxilia nesses cuidados, descrevendo os princípios científicos das medidas, incluindo os procedimentos que garantem a qualidade as medidas de radiação (World Meteorological Organization-WMO, 2006). Em síntese uma Estação SONDA (Figura 1) coleta medidas de radiação direta, radiação difusa e radiação global, além de temperatura do ar, pressão e umidade relativa (Relatório Projeto Sonda/Petrobrás_Estação Solarimétrica de Termoaçu/ RN).

A experiência da equipe envolvida na instalação das estações SONDA durante estes últimos anos foram à base para a descrição dos procedimentos fundamentais, informações sobre o programa de coleta dos dados, manutenção e operação do sistema.

Para escolha de um instrumento é necessário considerar o limite das medidas, as limitações físicas, o tempo de resposta, acurácia, resolução, representatividade e sensibilidade que determinará a confiabilidade e a qualidade dos dados, e para isso, as recomendações da WMO quanto à calibração deverá sempre ser atendida. Os dispositivos de medida consistem de três componentes fundamentais: o sensor, o transdutor e a transmissão e/ou dispositivo de leitura.

Os equipamentos integrantes que compõem a Estação Solarimétrica constituem equipamentos de grande confiabilidade disponíveis no mercado a saber:

- **Piranômetro** (Figura 2) são sensores que medem a Radiação Solar Global (W/m^2) na faixa de 335 a 2200 nanômetros. Este tipo de instrumento pode ser utilizado para medir tanto a Radiação Global (Direta + Difusa) quanto unicamente a Radiação Difusa, nesta haverá 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 CMP11 Kipp & Zonen). Segundo normas descritas na WMO este instrumento é caracterizado pelo uso de uma termopilha que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies, a expansão sofrida pelas superfícies provoca uma diferença de potencial proporcional à medida de radiação solar. Os piranômetros são classificados de 1ª classe os que possuem uma precisão de 2% nas medidas e de 2ª classe aos piranômetros cujas medidas excedem 5% de precisão. A calibração desses sensores consiste da determinação de um ou mais fatores e condições ambientais como temperatura, nível de irradiância, variação temporal, a distribuição angular de radiação, inclinação do instrumento, radiação de onda longa para a correção do “offset”, dentre outros. A definição das condições ambientais e os cuidados recomendados são decisivos para se obter confiabilidade as medidas.

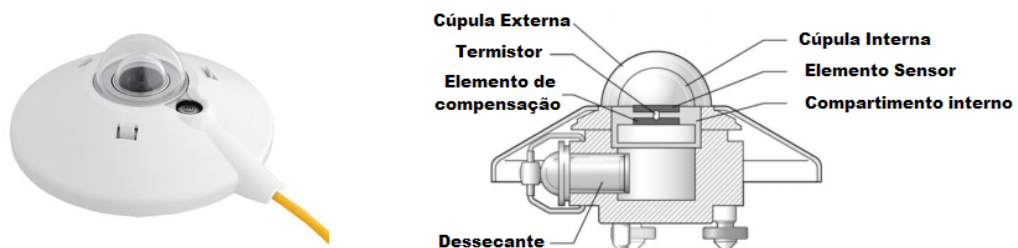


Figura 2: Piranômetro série modelo CMP (termopilhas) Kipp & Zonen e sua estrutura.

- **Pirgeômetro** (Figura 3) 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 da ROL que atinge a sua cúpula mais a ROL emitida pelo próprio radiômetro, o mesmo possui uma certa temperatura, desta forma é necessário medir a temperatura interna do sensor, para inferir apenas a ROL incidente (Instruction Manual_Model CGR4 Kipp & Zonen). Portanto existem três componentes de entrada de fluxo: a entrada de irradiância transmitida através da cúpula do sensor, a radiação emitida pela cúpula e a radiação emitida pela superfície do sensor e refletido pela cúpula. Suas características operacionais dependerá da qualidade do sensor que poderá ser alta, boa e moderada variando a resolução entre 1,0, 5,0 e 10,0 W/m^2 , respectivamente. Conforme descrito nas normas da WMO a calibração dos pirgeômetros deverá ser realizada anualmente sendo importante ressaltar a manutenção e os cuidados a serem aplicados, como manter o instrumento com ventilação em ambiente adequado livre de obstáculos e com temperaturas que não excedam -20° a $40^{\circ}C$. A temperatura indicará o percentual de variação nas medidas (de 1% a 5% para mais ou para menos) dependendo da qualidade do instrumento. A calibração é que delimitará a qualidade nas medidas.

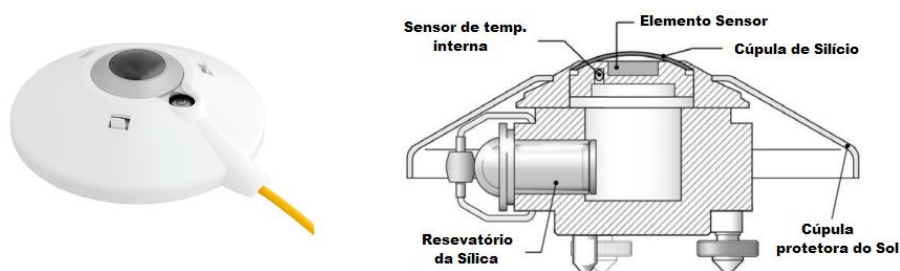


Figura 3: Pirgeômetros Kipp & Zonen modelos CGR3 e CGR4 e sua estrutura.

- **Pireliômetro** (Figura 4) mede a radiação direta, é necessário estar apontando em direção ao sol, seguindo o movimento solar. 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 que passa. (Instruction Manual_Model CHP1 Kipp & Zonen). A calibração deste sensor pode ser realizada por comparação usando o sol como emissor de radiação, para isso é necessário ter o pireliômetro absoluto que servirá como fator determinante para as medidas. As calibrações deverão ser realizadas a cada um ou dois anos se o instrumento for habitualmente utilizado em campo, para sensores de laboratório este intervalo poderá se estender por até cinco anos, dependerá das condições em que estão os sensores. Pireliômetros quando utilizados adequadamente apresentam precisão na faixa de 5 %. Possui como características operacionais, um tempo de resposta inferior a 30 (trinta) segundos.



Figura 4: Pireliômetro CHP1, fabricado pela Kipp & Zonen.

- **Sensor de Temperatura e Umidade** (Figura 5) também chamado de termohigrômetro permite obter medidas de temperatura e umidade em um só 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 Vdc (volt contínuo) ou 4 a 20 μA (micro Ampere). O sensor é capaz de medir a temperatura na faixa de -50° a $50^{\circ}C$ 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, isto evita que fatores como chuva, vento e raios solares danifiquem as medidas (Instruction Manual_Model 41382VC/VF, 0-1 V output – RMYOUNG). Segundo normas padrões estabelecidas pela WMO o higrômetro deverá ser posicionado à uma temperatura entre 1,25 e 2,00 metros acima do terreno aonde será instalado a estação (Giovelli, I.A., 2007).

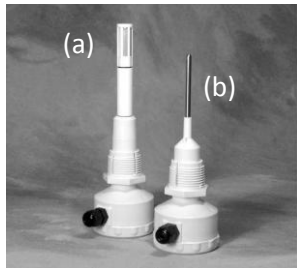


Figura 5: (a) sensor modelo 41382 temperatura e umidade relativa, (b) sensor modelo 41342 somente temperatura, fabricados pela RMYOUNG.

- **Sensor de Pressão** (Figura 6) denominado barômetro aneróide, de modelo PTB 110, mede a pressão atmosférica na faixa de 500 a 1100 MB (Instruction Manual_Model PTB110 Vaisala). Pelo SI a unidade da pressão é o Pascal (Pa), sua precisão varia entre -0,3hPa a +0,3hPa. Os erros de leitura estão associados a mudanças de temperatura, histerese e leituras impróprias. Os sinais elétricos proporcionados para a pressão são obtidos com o uso de potenciômetros ou transformador diferencial de variação linear.



Figura 6: Barômetro PTB110, fabricado pela Vaisala.

- **Coletor de Dados** (Datalogger) (Figura 7a), modelo CR3000 da Campbell, a sua finalidade é de coletar e armazenar dados dos sensores. Quando programado é possível calcular médias, desvios padrões, mínimos e máximos, etc... Estes valores serão retidos e salvos em sua memória, de acordo com o tempo escolhido pelo usuário. Posteriormente estas informações serão transferidas para um computador (através de cabos de conexão) ou enviadas via rede (internet). A conexão dos sensores com o datalogger é realizada através de “claspers” (Figura 7b) com o objetivo de proteger os circuitos e sensores de descargas elétricas. O sistema é alimentado através de baterias (Figura 7c) fornecendo a energia necessária para os equipamentos. O sistema é conectado a rede web através de interface NL100 (Figura 7d).

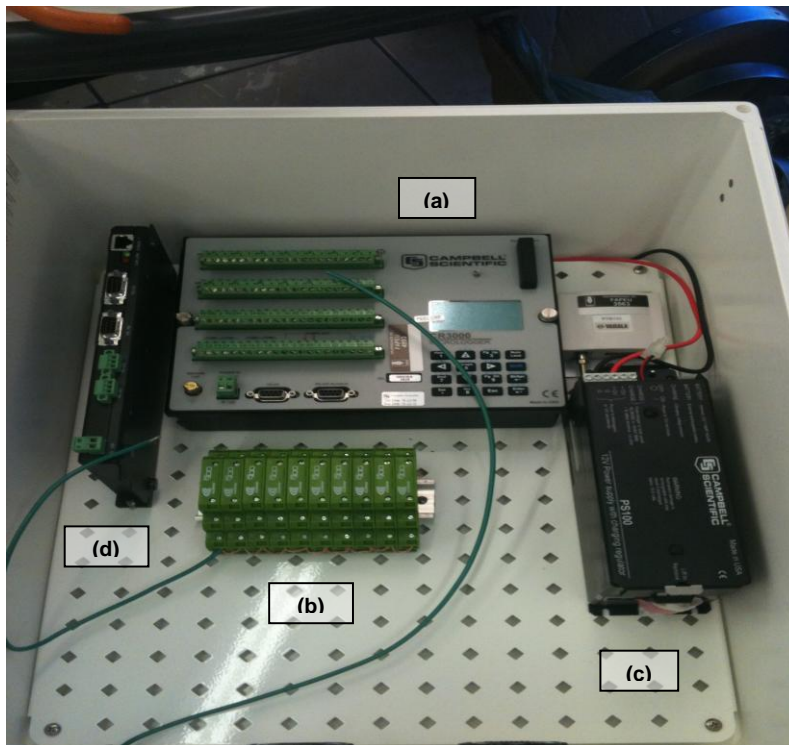


Figura 7.: (a) Datalogger, modelo CR3000 da Campbell; (b) “claspers”, (c) Bateria 12volts da Campbell, e (d) Interface de Rede NL100 carga Campbell instalados na caixa.

- **Rastreador Solar** (Figura 8), é um instrumento de dois eixos que pode ser utilizado como posicionador ou rastreador solar, medindo assim a radiação difusa. Tem a capacidade de direcionar automaticamente os instrumentos montados em sua plataforma na direção do sol, durante seu trajeto celeste, bloqueando a passagem de radiação direta. (Instruction Manual_Model 2AP - 2Axis Sun Tracker/ Positioner Gear Drive - Kipp & Zonen).

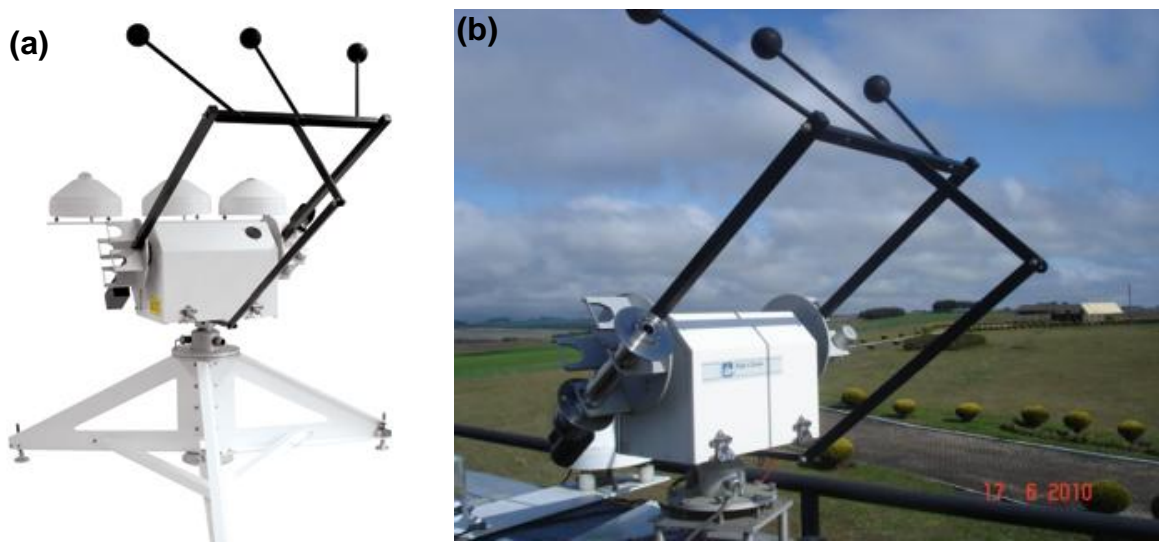


Figura 8: (a) Rastreador Solar modelo 2AP; e (b) Rastreador Solar instalado em campo, Estação de São Martinho/RS.



Alguns processos são recomendados, tais como:

- Visitas semanais a estação para verificar o nivelamento dos piranômetros, além de revisar as sílicas que deverão possuir a cor azul, caso contrário, ou seja, esteja na cor branca, efetuar a troca imediata, manter o equipamento livre de fragmentos com o uso de flanelas umedecidas;
- Observar os sensores que fazem uso de lentes, verificar se estão em condições de uso, caso isso não ocorra, utilizar de flanelas umedecidas com água, caso isso seja necessário;
- Em se tratando de sensores de temperatura e umidade, para realizar a limpeza é necessária a utilização de um jato de ar ou pincel;
- No caso de sensores de pressão, deve-se observar se sua entrada de ar esta livre para a passagem de ar para o sensor;
- No entanto, para os rastreadores solares é necessário que se verifique diariamente, observando se o mesmo está acompanhando os movimentos do sol ajustando-o conforme a necessidade se for necessário corrigir o horário e o posicionamento.

3- Conclusões

A confiabilidade dos dados está fundamentalmente ligada à realização cotidiana da manutenção e calibração dos sensores.

A instalação e a manutenção envolvem avaliação dos instrumentos, calibração dos sensores, manutenção elétrica e civil do local da estação e a validação dos dados desses equipamentos, contribuindo para a veracidade e confiabilidade das medidas existentes em um banco de dados. Alguns procedimentos rotineiros devem ser seguidos como limpeza das cúpulas, troca eventual de sílica (função de manter os sensores livres de umidade) corrigir os desvios apresentados pelo rastreador solar quando houver.

Atividades vinculadas à utilização de medidas solares são favorecidas quando a qualidade dos dados proporcionados é sólida, por tal motivo é imprescindível que a estação esteja em um ambiente adequado, livre do sombreamento de árvores, arbustos e região montanhosa próxima à estação.

Implementar as informações em sistemas de coletas, priorização dos dados gerados, avaliá-los e validá-los conforme as necessidades são os passos que devem ser tomados para se obter uma base científica concreta. Assim sendo, este trabalho serviu como ponto de partida que viabiliza um desenvolvimento mais consistente para busca de resultados em se tratando da qualidade dos dados obtidos.



4- Referências Bibliográficas

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.; NOGUERIA, 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.

DEFELICE, T. P. An Introduction to Meteorological Instrumentation and Measurement. University of Wisconsin at Milwaukee, 1997.

FRITSCHEN, L. J.; GAY, L. W. Environmental Instrumentation, New York - USA, 1979.

GIOVELLI, I. A. Sítio de Estação Meteorológica – Ag Solve Monitoramento Ambiental, 2007.

Instruction Manual - CHP1 Pirheliómetro - Kipp & Zonen

Instruction Manual - CMP 11 Pyranometer - Kipp & Zonen

Instruction Manual - CGR4 Pyrgeometer - Kipp & Zonen

Instruction Manual - CR3000 Micrologger – Campbell Scientific

Instruction Manual - PTB110 Barometric Pressure Sensor – Vaisala

Instruction Manual - 2AP - 2Axis Sun Tracker / Positioner Gear Drive - Kipp & Zonen

Instruction Manual - NL100Network Link Interface

Instruction Manual - MODEL 41382VC/VF - Relative Humidity/Temperature Probe, 0-1 V output – RMYOUNG.

KRATZENBERG, M. G.; COLLE, S.; PEREIRA, E. B.; NETO, S. L. M.; BEYER, H. G.; ABREU, S. L. de. Rastreabilidade de radiômetros para medição da energia solar no Brasil. CONGRESSO DE METROLOGIA 2003- METROLOGIA PARA A VIDA, Recife/PE, 2003.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; CHAGAS, R. C.; NETO, S. L. M.; PEREIRA, E. B.; ANDRADE, E.; THOMAZ, J. C. Projeto Sonda – Rede Nacional de Estações para coleta de dados Meteorológicos aplicados ao setor de energia. I CBENS- I CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, Fortaleza/CE, 2007.

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.

Relatório Projeto Sonda/Petrobrás - Estação Solarimétrica de Termoaçú/ RN

R.M. Young Company - <http://www.youngusa.com>

SILVA, F. R. da; CARVALHO, M. J. M. de. Implantação da Estação Solarimétrica de Natal-RN, // CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR E III CONFERÊNCIA REGIONAL LATINO-AMERICANA DA ISES, 2008.



SONDA, Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – CCST/INPE.
<http://sonda.ccst.inpe.br/>

Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE - <http://www.univille.edu.br>

VARELA, G. H.; PEREIRA, O. S. Medição e Avaliação dos dados Solarimétricos da Cidade do Salvador, UNIFAC.

Wikipédia – Enciclopédia livre - <http://www.wikipédia.com.br>

World Meteorological Organization (WMO) - Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, preliminary seventh edition, 2006.