

DESENVOLVIMENTO DE UM PADRÃO OPERACIONAL PARA INSTALAÇÃO DE ESTAÇÕES SOLARIMÉTRICAS PADRÃO SONDA NO ESTADO DO PARANÁ

Rafael de Freitas Gasparelo Danderfer¹, Camila Scotti Pinto², Nicole Polityto Cremasco³, Sarah Beatriz Gruetzmacher⁴, Jorge Assade Leludak⁵, Gerson Máximo Tiepolo⁶, Renan de Oliveria Bronhara⁷, Caio Jorge Martins Sodré⁸

¹UTFPR, Curitiba, Brasil, rafa_de_freitas@hotmail.com

²UTFPR, Curitiba, Brasil, camilapinto@alunos.utfpr.edu.br

³UTFPR, Curitiba, Brasil, nicnicolecrem@gmail.com

⁴UTFPR, Curitiba, Brasil, sarah@alunos.utfpr.edu.br

⁵UTFPR, Curitiba, Brasil, assade@utfpr.edu.br

⁶UTFPR, Curitiba, Brasil, tiepolo@utfpr.edu.br

⁷UTFPR, Curitiba, Brasil, renan_o_bronhara@hotmail.com

⁸UTFPR, Curitiba, Brasil, caio.martins.sodre@outlook.com

RESUMO

Com o aumento do consumo de energia elétrica no país e do crescente interesse da sociedade por fontes de energia de baixo impacto ambiental, o mercado de energia fotovoltaica vem ganhando maior destaque, sendo estratégico o conhecimento e mapeamento dos recursos solares, seja de um determinado local ou de uma região específica. O objetivo deste trabalho é descrever os passos utilizados para instalação de três estações solarimétricas que deverão fazer parte da rede SONDA do INPE (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), desde a especificação dos equipamentos e sensores que as integrarão, bem como o dimensionamento da estrutura necessária para comportá-los. Esta rede de alta qualidade coleta e armazena principalmente, informações da radiação solar em superfície, estratégicas para o estudo e prospecção da energia solar e, portanto, de grande importância para o Estado do Paraná.

Palavras-chave: energia solar, estação solarimétrica, instrumentação aplicada.

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia solar é atualmente uma das alternativas mais promissoras para prover energia necessária ao desenvolvimento humano [1]. Segundo Rüther [2], todos os dias incide sobre a superfície da Terra mais energia vinda do sol do que a demanda anual de todos os habitantes de nosso planeta. A capacidade total de energia solar instalada no mundo foi de 402 GW em 2017. Apenas em 2017, foram instalados mais de 99 GW no mundo todo, sendo um aumento de quase 30% em relação ao ano anterior [3].

Neste contexto, o mapeamento da irradiação no país tem se mostrado de importância estratégica para o planejamento da utilização desse recurso. Com esse objetivo, em 2006, foi publicado o Atlas Brasileiro de Energia Solar, utilizando dados obtidos entre 1995 a 2005 de irradiação coletados em superfície e de imagens de satélite, além de outras informações necessárias ao processamento. Somente em 2017 é que foi publicada a 2ª edição do Atlas, utilizando uma base de dados de 1999 até 2015 [4].

Em âmbito estadual foi publicado, em dezembro de 2017, o Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, em uma parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Itaipu Binacional, através do Parque Tecnológico Itaipu (PTI), e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Neste mesmo projeto, além do Atlas, foi elaborada também uma Ferramenta WEB interativa que possibilita a qualquer usuário identificar o potencial solar de qualquer ponto do Estado do Paraná.

Entretanto, ao longo do desenvolvimento do Atlas de Paraná, foi identificada a necessidade de se obter informações mais precisas da radiação solar em superfície, principalmente das componentes difusa, direta normal e inclinada na latitude, informações que não são disponíveis no estado, com exceção da estação implantada no TECPAR [5] em Curitiba (Instituto de Tecnologia do Paraná), cujos dados medidos e o estado atual de operação da estação não são divulgados. Para atender a esta necessidade, é oportuna a implantação de estações solarimétricas que possam medir estas grandezas nos diferentes microclimas que se apresentam no Paraná. Com esse intuito, foi firmado, em 2017,

uma parceria entre a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) e a UTFPR para desenvolvimento de um projeto de P&D, na qual, dentre outros objetivos, será realizada a implantação de três estações solarimétricas aptas a participar do Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA) do INPE, as quais serão responsáveis pela coleta e transmissão de dados de irradiação direta normal, difusa, global horizontal e no plano inclinado na latitude, além de outras grandezas que serão medidas.

As três estações serão instaladas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) nos câmpus: Curitiba, Campo Mourão e Medianeira. Os três câmpus foram escolhidos dentre os demais pois estão espacialmente distribuídos no estado fornecendo informações importantes sobre a radiação solar no Paraná. Determinados modelos permitem estimar a distribuição da radiação solar em uma determinada região. Entretanto, para o sucesso destas projeções, é imprescindível a validação dos resultados estimados com dados medidos em superfície [6].

A rede SONDA de dados é fruto de um projeto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cujo objetivo é a implementação de infra-estrutura física destinada a levantar e melhorar a base de dados dos recursos de energia solar e eólica no Brasil [7].

A partir das medições de uma estação SONDA é possível obter valores de irradiação direta normal, difusa e global no plano horizontal e plano inclinado [4].

2 MÉTODOS

Para que não haja sombreamento nos equipamentos presentes na SONDA é necessário que seja realizada análise prévia, em decorrência deste fato, realizou-se análise qualitativa por meio de simulação em software. A análise de sombreamento, que se deu com o auxílio da plataforma de desenvolvimento *AutoCAD*®, visa reduzir ou eliminar a projeção de sombras sobre os equipamentos de medição de radiação solar ao longo do dia durante todo o ano. Para tal, é necessário que o estudo seja focado nos dias críticos, sendo estes os solstícios de verão e inverno.

Os sensores que serão utilizados para as estações SONDA a serem instalados nos câmpus da UTFPR são: anemômetro, para medição da direção e velocidade do vento; piranômetro de classe secundária, para medição das componentes global horizontal, difusa e inclinada na latitude; pireliômetro de primeira classe, para medição da radiação direta normal; pirgeômetro, para medição da radiação de onda longa; rastreador

solar; termohigrômetro, para medição da temperatura e umidade relativa do ar; barômetro, para medição da pressão atmosférica; pluviômetro e sensor de radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Ainda serão instalados um *datalogger* para coleta e armazenamento de dados e demais acessórios.

Buscando complementar as grandezas já medidas, é possível, ainda, incorporar nessas estações outros sensores como Visibilômetro, Câmera *All-Sky* e Espectroradiômetro, os quais propiciam o desenvolvimento de outras pesquisas na área e permitem o aprofundamento de estudos já existentes.

2.1 Descrição dos Equipamentos e Acessórios

Acondicionador: Dispositivo planejado para manter o *datalogger* em segurança, protegido contra danos causados pela exposição à água e a outros poluentes. Na Figura 1 é apresentado um exemplo do equipamento.



Figura 1. Acondicionador *Campbell Scientific*, modelo 16

Fonte: Manual Técnico *Campbell Scientific* 16 [8]

Anemômetro: Equipamento que realiza medidas de velocidade e direção dos ventos enviando sinais ultrassônicos entre seus eletrodos, um par de cada vez. Por conta de seu método de medição, esse equipamento deve estar longe de fontes de radiofrequência e deve ser instalado a uma altura de dez metros do nível do solo [9]. Na Figura 2 é apresentado um exemplo do equipamento.



Figura 2. Anemômetro *WindSonic-4*, da marca *Gill Instruments*

Fonte: Manual do usuário *Gill Instruments Windsonic-4* [10]

Espectroradiômetro: Instrumento responsável por estimar valores de irradiância solar por faixa do espectro de frequência. Na Figura 3 é apresentado um exemplo do equipamento.

PAR: *Photosynthetically active radiometer* (PAR), é um equipamento capaz de verificar a radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre o mesmo,



Figura 3. Espectroradiômetro da marca EKO, modelo MS-700N

Fonte: Manual EKO MS-700N Spectroradiometer [11]

sendo tal tipo de radiação a associada ao processo de fotossíntese de plantas. Na Figura 4 é apresentado um exemplo do instrumento.



Figura 4. PAR da marca Kipp&Zonen, modelo Lite

Fonte: Manual Kipp&Zonen PAR Lite [12]

Piranômetro: Dispositivo utilizado para medição tanto de radiação global quanto somente radiação difusa, sendo necessário, no segundo caso, a utilização de uma esfera ou anel de sombreamento para impedir a incidência de radiação direta no sensor [9]. A obtenção dos valores de radiação global não necessita de rastreador solar para ser realizada [13]. Um exemplo do instrumento descrito pode ser visualizado na Figura 5.



Figura 5. Piranômetro da marca Kipp&Zonen

Fonte: Manual Kipp&Zonen Pyranometer [13]

Pireliômetro: Dispositivo utilizado para medição de irradiação direta normal à superfície [1]. Para realização das medições o equipamento deve apontar diretamente para o sol, sendo assim é necessário que ele esteja conectado a um seguidor solar de dois eixos [14]. Na Figura 6 é apresentado um exemplo do equipamento.



Figura 6. Pireliômetro da marca Kipp&Zonen, modelo CHP1

Fonte: Manual Kipp&Zonen Pyheliometer CHP1 [14]

Pirgeômetro: Radiômetro de alta qualidade, cuja função é a medição de irradiação de ondas longas em superfície plana, decorrentes da radiação incidente do

hemisfério acima do equipamento. Este equipamento pode ser conectado paralelo à superfície horizontal e pode ser posicionado no seguidor solar [15]. Na Figura 7 é apresentado um exemplo do equipamento descrito.



Figura 7. Pirgeômetro da marca Kipp&Zonen, modelo CGR4

Fonte: Manual Kipp&Zonen Pyrgeometer CGR4 [15]

Rastreador Solar: Equipamento similar a uma plataforma, cujo objetivo é apontar dispositivos especializados no movimento do sol de acordo com a função de cada equipamento [16]. No rastreador solar podem ser instalados um pireliômetro para medição de radiação direta, um piranômetro, para medição de radiação difusa, e um pirgeômetro. Desta forma, tais equipamentos podem mensurar variáveis de irradiância que dependem da orientação do Sol ao longo do dia. Na Figura 8 é apresentado um exemplo do equipamento.



Figura 8. Rastreador solar da marca Kipp&Zonen, modelo Solys2

Fonte: Manual Kipp&Zonen Solys Sun Tracker [16]

Termohigrômetro: Permite a medição de temperatura e umidade relativa do ar. Realiza a medição da temperatura através de uma resistência de platina e a medição da umidade através de um sensor capacitivo de alta precisão. Este equipamento conta com uma proteção para evitar que fatores meteorológicos interfiram no seu correto funcionamento [9]. O suporte de fixação do equipamento prende-se a um poste vertical de até 5 cm de diâmetro [17]. Um exemplo do equipamento descrito é apresentado na Figura 9.



Figura 9. Termohigrômetro da marca RM-Young, modelo 41372VC

Fonte: Manual RM-Young 41372VC [17]

Barômetro: Equipamento utilizado para medir a pressão atmosférica [9]. Este deve ser instalado dentro de um local fechado e, caso isto não seja possível, necessita de uma proteção especial. Deve sempre ser instalado em posição vertical, com os conectores direcionados para baixo para prevenir o acúmulo de água [18]. Um exemplo do equipamento descrito é apresentado na Figura 10.



Figura 10. Barômetro da marca *Campbell Scientific*, modelo PTB110 Vaisala

Fonte: Barômetro *Campbell Scientific* PTB110 Vaisala [18]

Visibiliômetro: É utilizado para medir a extinção de luz em uma trajetória conhecida [19]. Este equipamento possui uma boa resistência para iluminação de fundo, porém é recomendado que o sensor não esteja apontado para uma fonte de luz ou uma superfície que a reflita [20]. Um exemplo do equipamento descrito é apresentado na Figura 11.



Figura 11. Visibiliômetro da marca *Campbell Scientific*, modelo CS-120A

Fonte: Manual *Campbell Scientific* CS120A/CS125 [20]

Pluviômetro: Realiza a medição da precipitação pluviométrica [9]. O equipamento tem 200 mm de diâmetro e 315 mm de altura. Deve ser instalado longe de grandes obstruções, como prédios e árvores. Possui três furos de 10 mm de diâmetro para fixação e ajuste de nível [21]. Um exemplo do equipamento descrito é apresentado na Figura 12.

Câmera All Sky: Câmera que captura imagens do céu como forma de aferir características de nebulosidade, incidência de nuvens no céu, assim como outros obstáculos à irradiância incidente no solo [22]. Um exemplo do equipamento descrito é apresentado na



Figura 12. Pluviômetro da marca *Hidrological Services*, modelo TB6

Fonte: Manual instrutivo *Hidrological Services* TB6 [21]

Figura 13.



Figura 13. Camera All-Sky da marca *EKO*, modelo ASI-16

Fonte: Especificações Técnicas *EKO* ASI-16 [22]

2.2 Disposição Geográfica das Estações

Com o objetivo de mapear os microclimas de forma mais abrangente, foram escolhidas cidades em pontos distintos do estado do Paraná, sendo elas: Curitiba, Medianeira e Campo Mourão, onde a UTFPR possui câmpus.

2.3 Seleção e Alocação de Equipamentos

Para este projeto, definiu-se que a estação será montada no solo e, visando a proteção e adequada disposição dos equipamentos constituintes, optou-se pela utilização de uma plataforma para instalação dos sensores.

Os instrumentos de medição podem ser posicionados em diversos locais da plataforma, porém, é de suma importância, para a eficiência da maioria dos equipamentos, que não haja sombreamento durante o dia e ao longo do ano [9]. Para que isto seja possível, é necessário realizar a previsão tanto do sombreamento por fontes externas quanto do gerado pelos próprios equipamentos.

2.4 Dimensionamento da Plataforma

Conforme a necessidade em atender a essas demandas, confeccionou-se um protótipo de uma plataforma para instalação dos equipamentos, referenciada nos modelos de estações do padrão SONDA [7] instalados ao longo do território nacional. Desta forma, foram elaboradas vistas frontal, lateral, superior, perspectiva tridimensional e um modelo tridimensional propriamente dito da

estação, utilizando-se, para isso, a plataforma de desenvolvimento AutoCAD® [23].

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A rotulação dos equipamentos, nos esquemáticos do projeto, foi realizada em ordem numérica. A associação entre os equipamentos e suas respectivas identificações pode ser conferida na Tabela 1.

Tabela 1. Tabela de identificação dos equipamentos da estação.

Item	Instrumento
1	Visibiliômetro
2	Rastreador Solar
3	Piranômetro para medição de radiação difusa
4	Pirgeômetro
5	Pireliômetro
6	Câmera All-Sky
7	Piranômetro para medição de radiação no plano inclinado
8	Pluviômetro
9	Anemômetro
10	Piranômetro para medição de radiação global horizontal
11	Espectroradiômetro
12	PAR
13	Caixa acondicionadora
14	Barômetro
15	Termohigrômetro

Fonte: Autoria Própria

A vista da estação, sob perspectiva, é apresentada na Figura 14. A indicação dos equipamentos presentes na estação pode ser verificados na Figura 15.

A vista lateral da estação está presente na Figura 16, com a indicação dos equipamentos cuja visualização não é possível na perspectiva tridimensional.

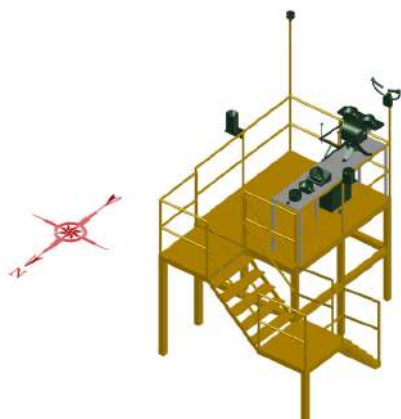


Figura 14. Vista da Estação Solarimétrica, sob perspectiva

Fonte: Autoria própria

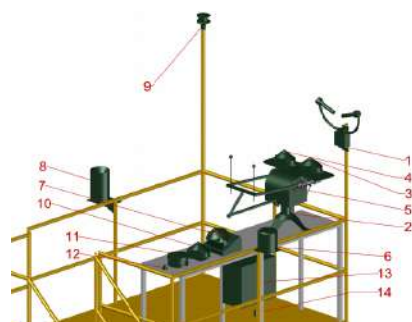


Figura 15. Indicação dos equipamentos presentes na estação

Fonte: Autoria própria

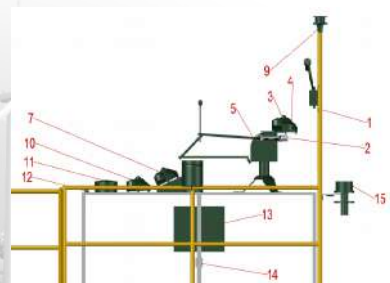


Figura 16. Vista lateral da estação, com indicação dos equipamentos

Fonte: Autoria própria

A Figura 17 apresenta o resultado da simulação computacional de teste de sombreamento gerado pelos componentes da estação à radiação com altura solar característica do período do solstício de inverno na cidade de Curitiba, Paraná, como aproximação às localizações de outras cidades onde as estações serão implementadas.

A altura solar no solstício de inverno foi utilizada como referência, uma vez que se trata da pior situação de operação dos equipamentos.

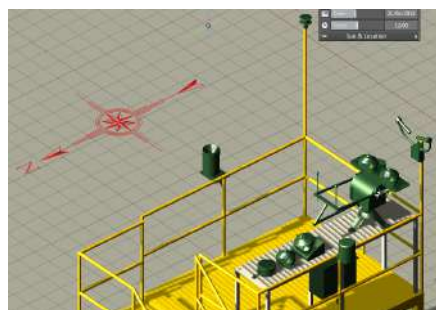


Figura 17. Vista Tridimensional da Estação, em simulação de efeito de sombreamento sob a luz solar no solstício de inverno para a cidade de Curitiba, Paraná

Fonte: Autoria própria

Os instrumentos que irão compor as estações devem ser testados antes da implantação, além dos radiômetros terem que ser muito bem nivelados. Outro ponto de atenção deve ser quanto a montagem da estrutura metálica, a qual deve ser posicionada sobre uma plataforma sólida, e cujo material utilizado em sua fabricação não sofra deformações (ou valores desprezíveis) ao longo do dia em função de variações de temperatura, de forma a não comprometer às medições realizadas pelos sensores. É necessário realizar, ainda, o planejamento prévio da alocação dos equipamentos de maneira a se evitar qualquer incidência de sombreamento sobre os sensores empregados.

4 CONCLUSÕES

Em decorrência do crescente aumento da participação da energia solar na geração de energia elétrica, o mapeamento da radiação solar e de outras grandezas tem se tornando cada vez mais importantes, sendo de suma importância o planejamento correto de equipamentos, estruturas e local para medição.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UTFPR pelo apoio e infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento destas pesquisas e a COPEL-Distribuição pelo apoio e financiamento dos recursos para realização deste projeto de P&D "PD 2866-0464/2017 - METODOLOGIA PARA ANÁLISE, MONITORAMENTO E GERENCIAMENTO DA GD POR FONTES INCENTIVADAS".

6 REFERÊNCIAS

- [1] J. T. Pinho and M. A. Galdino, *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*, 2014. [Online]. Available: <https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>
- [2] R. Rüther, *Edifícios Solares Fotovoltaicos*, 2004.
- [3] "Renewable 2018: Global status report," 2018, access: 08/08/2018. [Online]. Available: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf
- [4] E. B. Pereira, F. R. Martins, A. R. Gonçalves, R. S. Costa, F. J. L. de Lima, R. Rüther, S. L. de Abreu, G. M. Tiepolo, S. V. Pereira, and J. G. de Souza, *Atlas Brasileiro de Energia Solar*, 2017.
- [5] G. M. Tiepolo, E. B. Pereira, J. U. Junior, S. V. Pereira, A. R. Gonçalves, F. J. L. de Lima, R. S. Costa, and A. R. Alves, *Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná*, 2017.
- [6] F. R. da Silva, M. J. M. de Carvalho, A. Pedrini, F. M. da Silva, R. N. C. Duarte, R. C. Cabús, H. S. M. de Oliveira, and G. S. Marinho, "Implantação da estação solarimétrica de natal-rn," in *II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES*, Florianópolis, Brasil, 2008, pp. 1–10.
- [7] "Sistema de organização nacional de dados ambientais," 2018, access: 09/04/2018. [Online]. Available: <http://sonda.ccst.inpe.br/>
- [8] "Enc16/18 weather-resistant enclosure, 16 x 18 inches." [Online]. Available: <https://www.campbellsci.com/enc-16-18>
- [9] A. L. de O. Lira, B. de Lima Soares, and S. de Azevedo Santos, "Estação solarimétrica de referência – instalação, operação e manutenção," *Revista Brasileira de Energia Solar*, vol. 7, no. 2, pp. 132–139, 2016.
- [10] *Windsonic user manual*, 2006. [Online]. Available: <http://gillinstruments.com/data/manuals/WindSonic-Web-Manual.pdf>
- [11] *MS-700N Spectroradiometer Technical Specifications*. [Online]. Available: <https://eko-eu.com/products/solar-energy/spectroradiometers/ms-700n-spectroradiometer>
- [12] *PAR Lite Instruction Manual*. [Online]. Available: www.kippzonen.com/Download/116/PAR-Lite-Manual
- [13] *Instruction Manual Smart Pyranometers*. [Online]. Available: <http://www.kippzonen.com/Download/583/Manual-SMP-series-Smart-Pyranometers>
- [14] *Brochure Sun Trackers*. [Online]. Available: <http://www.kippzonen.com/Download/5/Brochure-Sun-Trackers-English>
- [15] *Instruction Manual Model CGR4 Kipp e Zonen*. [Online]. Available: <http://www.kippzonen.com/Download/38/Manual-CGR4-Pyrgeometer>
- [16] *Instruction Manual Solys2*. [Online]. Available: <http://www.kippzonen.com/Download/440/Manual-Sun-Tracker-SOLYS>
- [17] *Instruction Compact Aspirated Radiation Shield Model 43502*. [Online]. Available: <http://www.youngusa.com/products/2/16.html>
- [18] *Vaisala BAROCAP® Barometer PTB110 Series*. [Online]. Available: <https://www.campbellsci.com.br/cs106>
- [19] A. J. P. Filho, "Sistemas de medição em hidrometeorologia."
- [20] *CS120A and CS125 Visibility and Present Weather Sensors*. [Online]. Available: https://onlineexhibitormanual.com/worldatmcongress17/PDF/Brochure_exhiReg1338460_b_cs120a_cs125.pdf
- [21] *Instruction Manual Tipping Bucket Raingauge TB6*. [Online]. Available: https://www.fondriest.com/pdf/hsa_tb6_manual.pdf
- [22] *ASI-16 All Sky Imager Technical Specifications*. [Online]. Available: <https://eko-eu.com/products/environmental-science/all-sky-imager/asi-16-all-sky-imager>
- [23] "Autodesk autocad®." [Online]. Available: <https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview>