

Análise preliminar das irradiâncias na estação SONDA da UTFPR em Curitiba

Preliminary analysis of irradiance at UTFPR's SONDA station in Curitiba

RESUMO

Nesse trabalho analisou-se de maneira preliminar os dados radiométricos referentes a estação solarimétrica padrão SONDA da UTFPR instalada na sede Neville do Campus Curitiba. Essa estação, junto a outras 6, pertence à Rede de Estações de Pesquisa em Energia Solar - EPESOL coordenada pelo Laboratório de Energia Solar da UTFPR (LABENS) e faz parte do projeto Pesquisa e Desenvolvimento ANEEL/Copel-Dis/UTFPR PD 2866-0464/2017. Estudou-se as agregações médias da irradiâncias global horizontal, global horizontal no plano inclinado, difusa e direta normal entre dezembro de 2019 e agosto de 2020. Os resultados demonstraram estar coerentes com os indicados pela literatura auxiliando na validação dos dados coletados. Observou-se também fenômenos que devem ser analisados em próximas pesquisas como o efeito de borda de nuvem, onde o valor máximo encontrado da irradiância global horizontal foi de $1620 W/m^2$, muito superior aos valores esperados no topo da atmosfera e na superfície ao meio dia.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar. Estação solarimétrica. Irradiâncias. Validação.

ABSTRACT

In this work we analyzed in a preliminary way the radiometric data collected by the solarimetric station of the SONDA standard from UTFPR installed in the Neville site of the Curitiba Campus. This station, together with 6 others, are a part of a solar energy research network coordinated by the UTFPR Solar Energy Laboratory (LABENS) and it is a part of the ANEEL/Copel-Dis/UTFPR PD 2866-0464/2017 Research and Development project. The average aggregations of the global horizontal irradiance, global horizontal irradiance on tilted plane, diffuse horizontal irradiance and direct normal irradiance were studied between December 2019 and August 2020. The results showed to be consistent with the literature helping to validate the collected data. In addition, other phenomena have been observed that will be studied in next works such as, such as the cloud-edge effect, where the maximum value of horizontal global irradiation found was $1620 W/m^2$, considerably higher than expected than on the top of atmosphere and also on the surface.

KEYWORDS: Solar energy. Solarimetric station. Irradiances. Validation.

Nicolas Moreira Branco
nicolasbranco@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Gerson Máximo Tiepolo
tiepolo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

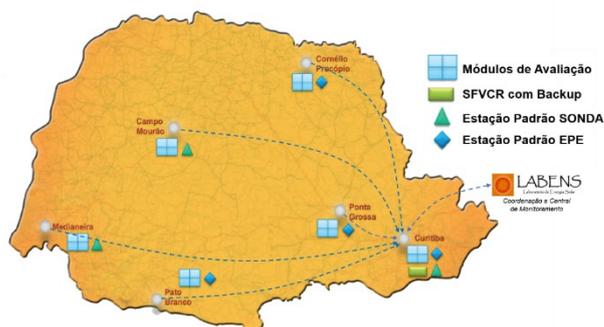
O constante aumento do consumo energético no decorrer dos anos associado as mudanças climáticas forçam o Brasil e diversos países a buscarem outras opções de fontes energéticas (BP, 2019). Dentre as opções, as renováveis têm crescido consideravelmente, especialmente a eólica e a solar (IEA, 2020). Tendo em vista que para o tempo de vida humano a energia solar pode ser considerada uma fonte inesgotável, esta fonte tem se mostrado uma excelente opção para geração de energia de forma limpa e sustentável (TIEPOLO, 2015).

Para isso, entretanto, é necessário o conhecimento mais aprofundado quanto a distribuição espacial da radiação solar, sendo importante possuir estações solarimétricas capazes de realizar pesquisas e medir estas grandezas na superfície.

Dentro desta perspectiva, o estado do Paraná tem se destacado a nível nacional quanto a inserção de sistemas fotovoltaicos em sua matriz elétrica, sendo em Agosto/2020 o 4º estado em capacidade instalada na geração distribuída no país, à frentes de estados como Ceará, Bahia e Pernambuco onde os índices de radiação solar são elevados (ABSOLAR, 2020). Buscando estudar mais sobre esse tema, especialmente nos diferentes microclimas que o Paraná apresenta em seu território, foram instaladas 7 estações solarimétricas em 6 cidades, sendo 3 de padrão SONDA (Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e 4 de padrão EPE (Empresa de Pesquisa Energética), apresentado na Figura 1, as quais fazem parte da Rede de Estações de Pesquisa em Energia Solar – EPESOL da UTFPR. Esse projeto é coordenado pelo Laboratório de Energia Solar – LABENS e faz parte do P&D ANEEL/Copel-Dis/UTFPR PD 2866-0464/2017.

Esse trabalho tem como objetivo analisar e apresentar os dados preliminares de irradiância medidos na estação solarimétrica padrão SONDA instalada na sede Neville do campus Curitiba da UTFPR.

Figura 1 – Rede EPESOL da UTFPR
Rede de Estações de Pesquisa em Energia Solar - EPESOL da UTFPR



Fonte: Acervo Labens (2020).

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de irradiância foram obtidos através de radiômetros instalados na estação SONDA da UTFPR em Curitiba. Para medição dos valores de irradiância das componentes Global Horizontal, Global Inclinada na Latitude do Local e Difusa,

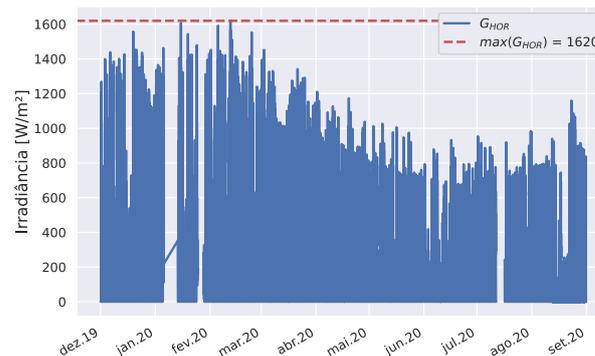
foram utilizados piranômetros de padrão secundária, enquanto para medição da irradiância direta normal foi utilizado um pireliômetro de primeira classe. Os dados foram então coletados, processados, armazenados e transmitidos por um datalogger modelo CR1000X da Campbell Scientific para a central de monitoramento no LABENS. O datalogger coleta os dados instantâneos dos piranômetros segundo a segundo e armazena os agregados dos valores medidos a cada minuto. As funções de agregações utilizadas pelo datalogger são as seguintes: média, desvio padrão, mínimo e máximo. Com isso, dos 60 valores lidos pelo datalogger, somente os 4 agregados são armazenados. Todas as análises desse trabalho utilizaram a agregação média das variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de irradiância medidos das componentes Global Horizontal (G_{HOR}), Global Inclinada na Latitude (G_{TOT}), Difusa (G_{DIF}) e Direta Normal (G_{DIR}) foram obtidos e analisados no período compreendido entre Dezembro/2019 a Agosto/2020. Os gráficos 1, 2, 3 e 4 apresentam os dados obtidos destas componentes respectivamente.

O maior valor encontrado no período analisado para a irradiância global horizontal foi de 1620 W/m^2 , muito superior a 1000 W/m^2 (máximo valor que se espera encontrar na superfície ao meio dia) e também superior ao da constante solar que é de 1366 W/m^2 (valor médio encontrado no topo da atmosfera) (TIEPOLO et al., 2017) (NREL, 2020). Valores elevados como este podem ser observados em períodos curtos de tempo, como descrito por Pereira et al. (2017), em condições de nebulosidade parcial como consequência de espalhamento por bordas de nuvens ou efeito lente causados pela geometria Sol/Nuvens/Terra.

Gráfico 1 - Dados de irradiância global horizontal entre dez/2019 e ago/2020



Fonte: Autoria própria (2020).

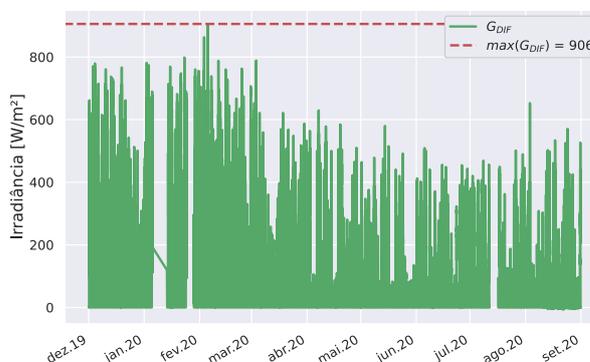
Percebe-se no Gráfico 2 comportamento da G_{TOT} similar à da G_{HOR} , porém mantendo valores maiores durante os meses de inverno.

Gráfico 2 - Dados de irradiação global no plano inclinado entre dez/2019 e ago/2020



Fonte: Autoria própria (2020).

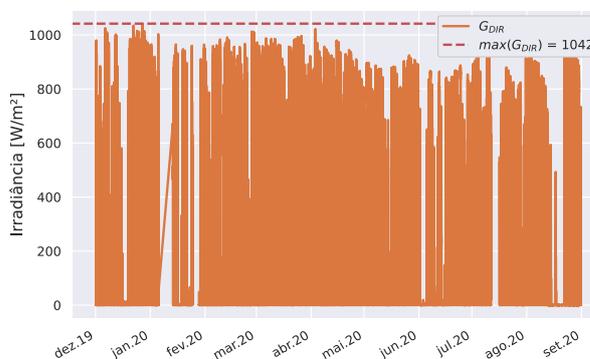
Gráfico 3 - Dados de irradiação difusa entre dez/2019 e ago/2020



Fonte: Autoria própria (2020).

O Gráfico 4 mostra que a irradiação direta normal tem uma menor variação dos valores de pico no decorrer dos meses, muito em função do equipamento que faz a medição desta componente da radiação solar, o pireliômetro, estar acoplado a um seguidor solar fazendo com ele esteja sempre voltado para sol. A grande quantidade de altos valores de irradiação encontrados indicam também uma grande quantidade de dias ensolarados no período analisado.

Gráfico 4 - Dados de irradiação direta normal entre dez/2019 e ago/2020



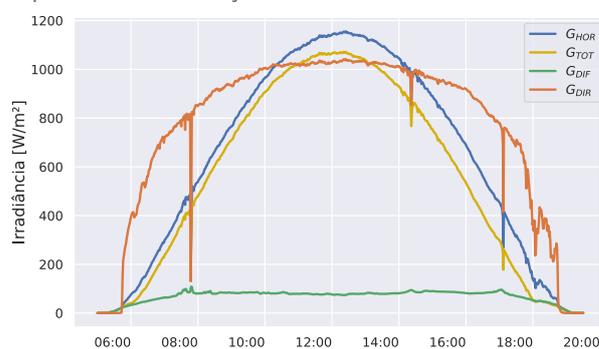
Fonte: Autoria própria (2020).

Neste trabalho analisou-se também o comportamento das irradiações ao longo do dia em 3 dias ensolarados e 1 dia nublado. Os dias ensolarados foram divididos da seguinte forma: o primeiro próximo ao solstício de verão; o segundo

próximo ao momento em que a irradiância global no plano inclinado tornou-se maior que a global horizontal, e o último próximo ao solstício de inverno. Para o dia nublado, escolheu-se também próximo ao solstício de verão. Essas variações das datas buscaram demonstrar amplitudes diferentes que a irradiância apresenta em diferentes momentos do ano em função da proximidade dos solstícios e da relação sol-terra. Os gráficos estão apresentados no horário local (UTC-3).

Para o caso do solstício de verão, o Gráfico 5 mostra um dia ensolarado em dezembro. O valor máximo para a irradiação global horizontal ocorreu às 12:25 com o valor de $1155,93 \text{ W/m}^2$. Nesse instante, a G_{TOT} estava $1071,76 \text{ W/m}^2$, G_{DIF} , $74,78 \text{ W/m}^2$ e G_{DIR} , $1041,83 \text{ W/m}^2$, respectivamente.

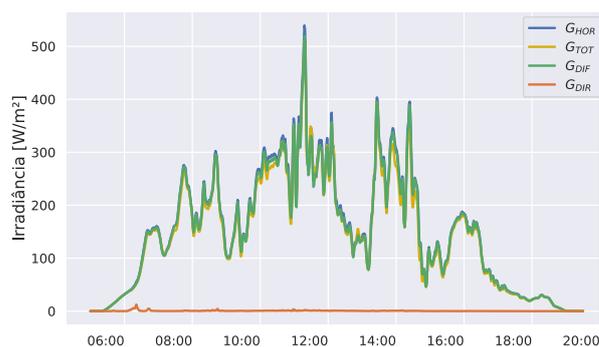
Gráfico 5 - Componentes da radiação solar durante o dia 27 de dezembro de 2019



Fonte: Autoria própria (2020).

Também próximo do solstício de verão, o Gráfico 6 mostra um dia nublado. Neste caso, percebe-se que todas as componentes estão muito próximas, demonstrando que aproximadamente toda a irradiância recebida neste dia é difusa. Exceção é a direta normal que apresenta valores mínimos, o que é esperado em função da alta nebulosidade apresentada.

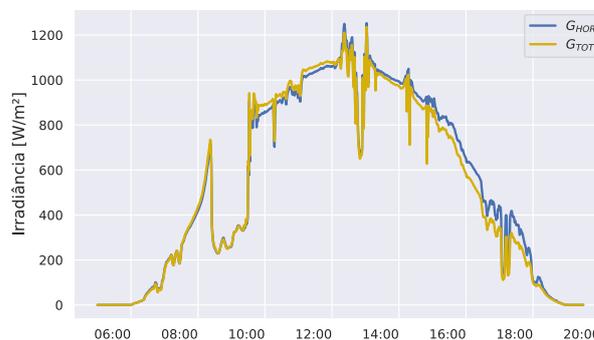
Gráfico 6 - Componentes da radiação solar durante o dia 17 de dezembro de 2019



Fonte: Autoria própria (2020).

O Gráfico 7 mostra aproximadamente o momento em que G_{TOT} ultrapassou G_{HOR} . Nas semanas dessa transição a maioria dos dias estava totalmente ou parcialmente nublado, dificultando apontar exatamente o momento da ocorrência. Próximo dos equinócios há sempre uma transição de amplitudes entre G_{HOR} e G_{TOT} .

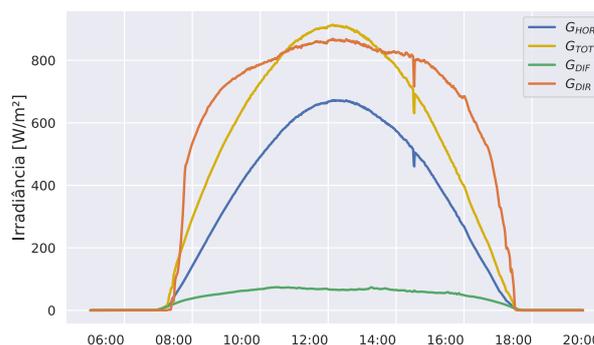
Gráfico 7 – Radiação solar Global Horizontal e Inclinada na Latitude próximo da inversão das curvas - 17 de fevereiro de 2020



Fonte: Autoria própria (2020).

Para o solstício de inverno, o Gráfico 8 mostra uma maior diferença entre G_{HOR} e G_{TOT} em comparação aos apresentados no solstício de verão. Para este dia, o valor máximo para G_{TOT} ocorreu às 12:08 com o valor de $914,50 \text{ W/m}^2$. Nesse instante, a G_{HOR} estava $672,90 \text{ W/m}^2$, G_{DIF} , $66,02 \text{ W/m}^2$ e G_{DIR} , $869,20 \text{ W/m}^2$ respectivamente.

Gráfico 8 - Componentes da radiação solar durante o dia 21 de junho de 2020



Fonte: Autoria própria (2020).

Outra análise interessante é a diferença entre G_{TOT} e G_{HOR} no período analisado e apresentado no Gráfico 9. Nesse caso, percebe-se que o plano inclinado na latitude é mais eficiente em relação ao plano horizontal no período próximo ao equinócio de outono até o de primavera.

Gráfico 9 - Diferença entre G_{TOT} e G_{HOR} entre dez/2019 e ago/2020



Fonte: Autoria própria (2020).

No Gráfico 9 ocorreu um ponto destoante em dezembro, os dados que causaram esse distúrbio estão demonstrados na Tabela 1. Percebe-se os dados inconsistentes somente nos minutos 12:05 e 12:06 do dia 25 de dezembro de 2019. Não se percebeu esse tipo de instabilidade após esse evento, nem tão pouco conseguiu-se encontrar a causa deste distúrbio.

Tabela 1 – Valores de G_{HOR} e G_{TOT} que explicam ponto destoante

Horário	Global Horizontal	Plano Inclinado
2019-12-25 12:04:00-03:00	1272,38	1194,12
2019-12-25 12:05:00-03:00	1255,99	902,37
2019-12-25 12:06:00-03:00	1253,74	1003,74
2019-12-25 12:07:00-03:00	1258,24	1186,42

Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

As análises preliminares realizadas neste trabalho demonstraram que os dados analisados estão coerentes com os indicados pela literatura, possibilitando processo inicial de validação dos dados que estão sendo coletados pela estação solarimétrica SONDA instalada na sede Neville do Campus Curitiba. Foram observados também fenômenos como o efeito de borda de nuvens, onde constatou-se valores de irradiância num curto período de tempo muito superior aos indicados pela literatura, sendo tema a ser aprofundado em próximos estudos. Salienta-se que este tipo de observação é precursor no estado do Paraná. A apresentação das curvas de irradiância de todas as componentes da radiação solar em diferentes períodos, permite a observação do seu comportamento em situações diferentes (céu claro e nublado) e das suas respectivas amplitudes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UTFPR pelo apoio e infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa e a COPEL-Distribuição pelo apoio e financiamento dos recursos para realização deste projeto de P&D "ANEEL PD 2866-0464/2017 - Metodologia Para Análise, Monitoramento e Gerenciamento da GD por Fontes Incentivadas".

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. **Infográfico**. Disponível em: <http://www.absolar.org.br/infografico-absolar.html>. Acesso em: 1 set. 2020.

BP. **Bp statistical review of world energy statistical review of world**. 2019. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em: 25 ago. 2020.

IEA. **Electricity information**. 2020. Disponível em: <https://webstore.iea.org/electricity-information-overview-2020-edition>. Acesso em: 15 ago. 2020.

NREL. **Solar resource glossary | grid modernization**. 2020. Disponível em: <https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/solar-glossary.html>. Acesso em: 2 set. 2020.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; DE LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; DE ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; GONÇALVES, J. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; JUNIOR, J. U.; PEREIRA, S. V.; GONÇALVES, A. R.; DE LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S.; ALVES, A. R. **Atlas de energia solar do estado do Paraná**. Curitiba: UTFPR, 2017.