

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO PERÍODO E RESOLUÇÃO DE DADOS EM MÉTODO DE SITE ADAPTATION: ESTUDO DE CASO PARA FLORIANÓPOLIS-SC

Gustavo Xavier de Andrade Pinto – gustavoxap@gmail.com
Amanda Mendes Ferreira Gomes
Marília Braga
Lucas Augusto Zanicoski Sergio
Helena Flávia Napolini
Ricardo Rütther
Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário Trindade, Caixa Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900

Resumo. Para análises locais, a avaliação do recurso solar é mais eficaz por meio de medições em estações solarimétricas em solo. Entretanto, em casos em que a distância para a estação mais próxima é substancial ou quando não se possui uma série histórica representativa, a utilização de dados de satélites, em forma de séries históricas, torna-se a opção ideal, especialmente para análises de cunho regional ou continental. Apesar de métodos baseados em satélites apresentarem níveis significativos de confiabilidade, ainda podem exibir divergências notáveis quando comparados a valores medidos por estações em solo. Com o intuito de assegurar a confiabilidade dos resultados de geração de energia fotovoltaica no local específico, método de correção de dados de satélite, conhecidos como site adaptation, é implementado. Esse método utiliza dados medidos em solo, visando minimizar erros e aprimorar a concordância entre os dados derivados de satélite e as medições em solo, obtendo-se assim um conjunto de dados histórico, calibrado por um período de medição em solo. O propósito deste estudo é apresentar a aplicação do método por meio de regressão linear, considerando faixas de irradiância, para dados provenientes da estação solarimétrica do Laboratório Fotovoltaica/UFSC. Isso é feito ao explorar diferentes períodos de medição em solo e resoluções temporais dos dados, visando uma compreensão mais abrangente e precisa do recurso solar disponível. Os resultados mostraram que, para um período de um ano, dados com resolução de 60 minutos apresentaram menores erros quando comparados com dados de 30 minutos. Adicionalmente o método levou a um ajuste maior de correção histórica dos dados de satélite (+4,16%) com relação à correção aplicada aos dados com resolução de 30 minutos (+3,88%). Por fim, comparando períodos diferentes de medição, observou-se que os menores erros ocorreram para os maiores períodos analisados (4 e 5 anos).

Palavras-chave: Site adaptation, recurso solar, dados de satélite.

1. INTRODUÇÃO

A viabilidade técnica e financeira de sistemas solares fotovoltaicas (FV) estão ligadas à avaliação do recurso solar disponível. Uma boa estimativa do recurso solar da região de interesse é necessária para obter estimativas de produção de energia mais precisas. Atualmente, são conduzidas campanhas de medição, por meio de estações solarimétricas em solo, que possuem equipamentos calibrados e funcionais, capazes de medir parâmetros meteorológicos como radiação solar, temperatura, umidade, velocidade do vento, e outras variáveis relevantes. Essas ações são direcionadas a locais específicos visando a preparação e execução de projetos voltados para os leilões de energia e devem ter um período de dados coletados de, no mínimo, um ano (EPE, 2023). Porém, para uma análise completa do planejamento de uma usina FV é recomendado considerar um período de, no mínimo, dez anos de dados do recurso solar (MIESLINGER et al., 2014). No entanto, a compreensão abrangente do contexto climático é essencial para uma avaliação mais completa e assertiva do potencial solar em uma região específica. Isso implica considerar não apenas as medições pontuais, mas também os padrões climáticos mais amplos, garantindo uma abordagem mais holística na estimativa do recurso solar disponível. Essa metodologia mais abrangente é fundamental para fornecer resultados mais robustos e representativos, especialmente em contextos nos quais a variabilidade climática desempenha um papel significativo na determinação da viabilidade de projetos FV (SENGUPTA et al., 2021).

Quando existe uma densidade adequada de estações em solo, as técnicas de interpolação são viáveis para avaliar o recurso solar em um local específico (RUIZ-ARIAS et al., 2011). No entanto, por vezes, a distância entre estas estações solarimétricas excede 30 km, como é o caso de análises regionais ou continentais, por isso, é recomendado o uso de dados de satélite para a avaliação do recurso solar (PEREZ; SEALS; ZELENKA, 1997). Os dados de satélite podem possuir discrepâncias quando comparados aos dados medidos em solo. Com isso, os modelos estatísticos podem auxiliar na interpolação entre dados medidos em solo de uma região específica para um curto período e os dados históricos de satélites coletados durante alguns anos. Este modelo é conhecido na literatura como *site adaptation*, onde os dados de satélite são modificados considerando os dados reais de coletados de sistemas em solo (SENGUPTA et al., 2021).

Existem várias formas para calcular os modelos estatísticos para *site adaptation* que foram criadas para melhorar os impactos *bias* associados aos dados resultantes. As técnicas para modelar os dados de *site adaptation* podem ser, por exemplo: remoção do enviesamento da regressão linear (*linear regression bias removal*), mapeamento de quantis (QM - *Quantile Mapping*), mapeamento de delta de quantis (QDM - *Quantile Delta Mapping*), transformação da função de distribuição cumulativa (CDF-T - *Cumulative Distribution Function-Transform*), mapeamento da distribuição da densidade de Kernel (KDM - *Kernel Density Distribution Mapping*), regressão múltipla específica do local (SIM - *Site-Specific Multiple Regression*), Procedimento de mapeamento sequencial regressivo-quantil (SIMEQ - *Sequential Regressive-Quantile Mapping Procedure*) e regressões utilizando subconjuntos de dados (POLO et al., 2016, 2020). Atualmente, o *machine learning* também é utilizado para simular os modelos estatísticos, ampliando assim a quantidade e a variedade de dados processados (NARVAEZ et al., 2021). No noroeste da Índia, por exemplo, foram analisados dados de irradiância direta referentes a um ano de dados medidos e nove anos de dados de satélites utilizando regressão linear. Foi encontrado que os períodos secos causaram uma subestimação dos valores de irradiância (POLO; MARTÍN; VINDEL, 2015). Em outro estudo, Polo et al. (2016) demonstraram que a utilização de dados medidos *in loco* ao longo de um período de um ano é pertinente para o treinamento de metodologias em grande parte dos locais analisados. Concluíram, ademais, que a formulação de um método universal, eficaz em todos os locais, é uma tarefa desafiadora. Além disso, observaram que a qualidade aprimorada dos dados obtidos *in situ* propicia melhorias proporcionais nos dados de satélite, destacando a relação direta entre a qualidade dos dados terrestres e a eficácia das correções aplicadas aos dados obtidos por satélites (POLO et al., 2016).

Pinto et al. (2023) apresentou os métodos de adaptação de *site* para os dados provenientes do Laboratório Fotovoltaico/UFSC, incorporando abordagens clássicas de regressão linear e incluindo considerações específicas para dias de céu claro, dias nublados e faixas de irradiação. Este estudo trouxe contribuições significativas para a análise comparativa entre os dados obtidos em solo e aqueles provenientes de satélites. Os resultados indicam que o método de regressão linear gerou erros relativos de 22,35% (rRMSE) e 1,61% (rMBE). Já a metodologia que leva em conta a separação por dias de céu claro e nublado apresentou uma melhora de 0,1% no rRMSE e 0,14% no rMBE. Por sua vez, a segmentação por faixas de irradiação proporcionou dados mais refinados, com um rRMSE 0,88% menos favorável e um rMBE 0,6% mais próximo da tendência ideal. Esses resultados destacam a importância de considerar abordagens específicas ao adaptar dados de satélites para melhor alinhamento com dados medidos em solo.

Este estudo tem como objetivo aprofundar a metodologia e os resultados apresentados por Pinto et al. (2023). Para isso, será considerado um período de dados coletados em solo de 2018 a 2022, enquanto os dados de satélites abrangerão o período de 2007 a 2022. A análise abordará os impactos das resoluções temporais, considerando ambas as bases de dados em intervalos de 30 e 60 minutos. O enfoque principal deste trabalho reside em examinar os impactos do método proposto e os ganhos de precisão ao considerar dados de satélite com maior resolução contrastados com um período mais longo de dados medidos em solo. É comum que os dados de satélite tenham um alto valor financeiro agregado, enquanto as medições em campo demandam acompanhamento e manutenções periódicas. O intuito é avaliar como a combinação de resolução temporal aprimorada e uma extensão temporal mais abrangente pode influenciar a precisão e robustez do método proposto.

2. METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho é aplicar o método de *site adaptation* apresentado por Polo et al. (2015) e Aguiar et al. (2019) para avaliar o recurso solar do Laboratório Fotovoltaica/UFSC, em Florianópolis-SC, utilizando o método de divisão das análises por faixas de irradiância proposto por Pinto et al. (2023). A Figura 1 apresenta um fluxograma das principais etapas da metodologia aplicada neste trabalho.

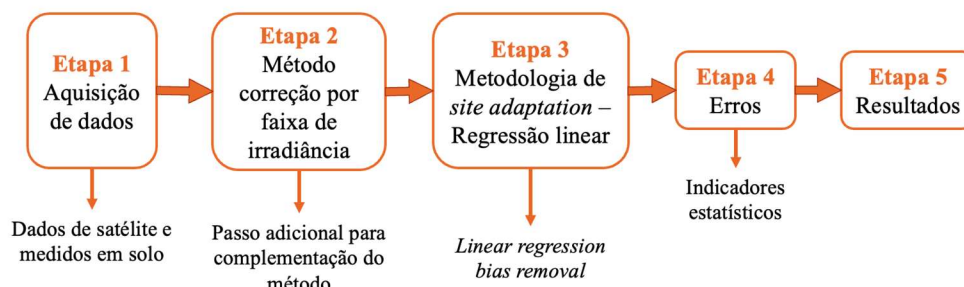


Figura 1 – Fluxograma geral do método aplicado.

A etapa 1 se resume na aquisição de dados de das duas fontes distintas: dados de satélite e dados medidos em solo. Já as etapas 2 e 3 tratam das análises de dados aplicando os métodos de *site adaptation* propostos por Polo et al. (2015) e ampliação da proposta de agrupamento da correção por faixa de irradiância apresentada por Pinto et al. (2023). A Etapa 4 se reserva aos filtros e tratamentos de erros com indicadores estatístico de erro absoluto médio (MBE – *Mean Bias Error*) e a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE – *Root Mean Square Error*).

2.1 Aquisição de dados

A aquisição de dados para este estudo será realizada por meio de dados medidos em solo e dados de satélites. A Figura 2 apresenta uma linha do tempo simplificada considerando os dados disponíveis e o início da simultaneidade entre eles. O Laboratório Fotovoltaica/UFSC está localizado em Florianópolis (27.43°S, 48.44°O) e todos os dados apresentados neste estudo são para esta localização geográfica.



Figura 2 – Linha do tempo da disponibilidade de dados.

O período de análise compreendeu um total de 5 anos, abrangendo de 1 de janeiro de 2018 a 31 de dezembro de 2022. Essa continuidade nos conjuntos de dados medidos e de satélite na resolução temporal dos dados facilita a análise e a compreensão das tendências ao longo desse período considerado.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados dados provenientes de satélites empregados obtidos da empresa Solcast, especializada em dados históricos de irradiação solar (<https://solcast.com/>). Foram empregadas séries cronológicas históricas de GHI abrangendo um período de 16 anos (de 2007 a 2022). A aquisição dos dados foi realizada com resolução temporal de 30 e 60 minutos, de modo a avaliar como esta resolução impacta os resultados. A metodologia e a validação do conjunto de dados de irradiação proveniente de satélites fornecido pela Solcast estão descritas por BRIGHT (2019).

Os dados de GHI medidos em solo utilizados neste estudo foram obtidos por meio de leituras do piranômetro Kipp & Zonen, modelo SMP22, instalado na estação solarimétrica localizada no Laboratório Fotovoltaica/UFSC, mostrado na Figura 3.



Figura 3 – Imagens áreas do Laboratório e da estação solarimétrica do Fotovoltaica/UFSC.

Para assegurar a adesão às práticas de monitoramento de maior excelência, são seguidos os padrões definidos pela *Baseline Surface Radiation Network* (BSRN) para os procedimentos de instalação e observação. Para uma descrição mais minuciosa e abrangente, informações adicionais estão disponíveis em Mantelli et al. (2019), detalhando os aspectos técnicos e funcionais da implementação desses dispositivos.

A resolução temporal dos dados do sensor de GHI da estação solarimétrica é elevada, registrando informações a cada segundo. Contudo, para uma análise mais precisa e redução de possíveis ruídos nos dados, é comum calcular a média das leituras em intervalos de um minuto.

No âmbito deste estudo, os dados obtidos foram posteriormente integrados em uma resolução temporal de 30 e 60 minutos. Essa adaptação se faz necessária para aplicação do método de *site adaptation*, que requer uma comparação direta com os dados de satélite, que foram adquiridos com estas resoluções temporais.

2.2 Método de *site adaptation*

Os dados coletados deste estudo serão dispostos sob uma divisão baseadas em faixas de irradiação (PINTO et al., 2023), em grupos de faixas de 200 W/m² de 0 a 1.400 W/m², totalizando sete grupos distintos. Após a divisão, será

aplicada a técnica da regressão linear de forma individual para cada grupo visando calcular os fatores de correção. Tais fatores visam compensar as discrepâncias entre duas séries de dados, partindo da análise do gráfico de dispersão entre os dados obtidos a partir de medições em solo e os dados provenientes de satélite. Durante o processo de ajuste linear, é possível observar um afastamento dos pontos do ajuste linear ideal, indicando desvios ou variações nos dados em relação ao modelo linear esperado. A regressão linear procura ajustar a linha que melhor se adapta aos dados, minimizando as diferenças entre os valores observados e os valores previstos por essa linha. Ela regressão linear é usada para entender como uma variável está relacionada a outra, permitindo previsões ou estimativas com base nessa relação. No contexto de análise de dados de forma geral, ela é frequentemente empregada para identificar padrões ou relações entre conjuntos de informações, por isso, é utilizada neste método.

O método dos mínimos quadrados foi empregado para obter um ajuste linear a partir do gráfico de dispersão entre as informações provenientes de satélites e aquelas obtidas por medições terrestres. Os coeficientes derivados da análise de regressão linear são então utilizados para otimizar a precisão dos dados de satélite, conforme explicitado na Eq. (1).

$$Y_{sat}^{novo} = Y_{sat} - [(a - 1)X_{solo} + b] \quad (1)$$

onde:

Y_{sat}^{novo} = Novos dados de GHI de satélite corrigidos através de dados medidos em solo;
 Y_{sat} = Dados GHI de satélite da Solcast;
 X_{solo} = Dados GHI medidos em solo;
 $\{a, b\}$ = Coeficientes da regressão linear.

Diante dos dados de satélite corrigidos, os quais foram avaliados no intervalo correspondente ao período de obtenção dos dados medidos, é necessário estender essa correção para abranger a totalidade do histórico de dados. Procede-se, para tanto, à elaboração de um gráfico de dispersão, que representa a relação entre os dados de satélite adaptados e os dados originais de satélites. A aplicação dos novos coeficientes obtidos a partir da análise da regressão linear, conforme expresso pela Eq. (2), é executada para efetuar essa correção abrangente ao longo do período de 2007 a 2022. Esse procedimento visa assegurar uma consistência temporal na qualidade dos dados, contribuindo para uma análise robusta e abrangente ao longo do histórico temporal considerado.

$$Y_{sat}^{novo} = C * Y_{sat} + D \quad (2)$$

onde:

Y_{sat}^{novo} = Novos dados de GHI de satélite corrigidos através de dados medidos em solo;
 Y_{sat} = Dados GHI de satélite da Solcast;
 $\{C, D\}$ = Coeficientes da regressão linear.

2.3 Indicadores de erros

O cálculo de indicadores de erros são cruciais para avaliar a coerência entre os dados coletados nas estações solarimétricas em solo e os baseados em satélites adaptados pelo método apresentado. No contexto deste estudo, estas indicadores foram empregadas para avaliar o impacto da resolução temporal e período de dados medidos no resultado, de modo a fomentar a otimização entre custo e benefício no planejamento de investimentos em infraestrutura de sensores e compra de dados de satélite, bem como a manutenção e operação de estações solarimétricas e esforço computacional na análise dos dados. Para essa finalidade, foram empregadas duas métricas de avaliação de erros na comparação entre os dados medidos em solo e os dados de satélite adaptados para o período de correspondência da análise. O Erro Médio de Biais (MBE) fornece uma indicação da direção em que o modelo está se deslocando e é expresso na Eq. (4). A Eq. (5) representa o Erro Quadrático Médio da Raiz (RMSE), oferecendo uma perspectiva sobre a dispersão dos dados em relação à linha de melhor ajuste. Para determinar os erros relativos, %rMBE e %rRMSE, os erros absolutos foram divididos pela média dos dados de GHI medidos no solo.

$$MBE = \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (GHI_{satélite,i} - GHI_{medido,i}) \right] \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N (GHI_{satélite,i} - GHI_{medido,i})^2 \right]} \quad (5)$$

onde:

N = Quantidade de amostras no intervalo determinado;
 $GHI_{satélite,i}$ = Dados GHI de satélite corrigido pelo método de *site adaptation*;
 $GHI_{medido,i}$ = Dados GHI medidos em solo corrigido método de *site adaptation*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise da resolução temporal

As Fig. 4 apresenta, considerando dados com resolução de 30 minutos, a dispersão entre os dados de satélite e os dados medidos em solo, para o período de um ano de medição (01/01/22 a 31/12/22), tempo mínimo de aquisição de dados medidos *in loco* requerido no Brasil para apresentação de projetos de energia solar, e aqui utilizado como base nas comparações. Os gráficos da imagem mostram que os dados para irradiâncias mais baixas tendem a ser superestimados pelos dados de satélite, e os dados para irradiâncias mais altas tendem a ser subestimados. O coeficiente de determinação (R^2) apresenta melhora, indicando um melhor ajuste com relação aos dados medidos em solo.

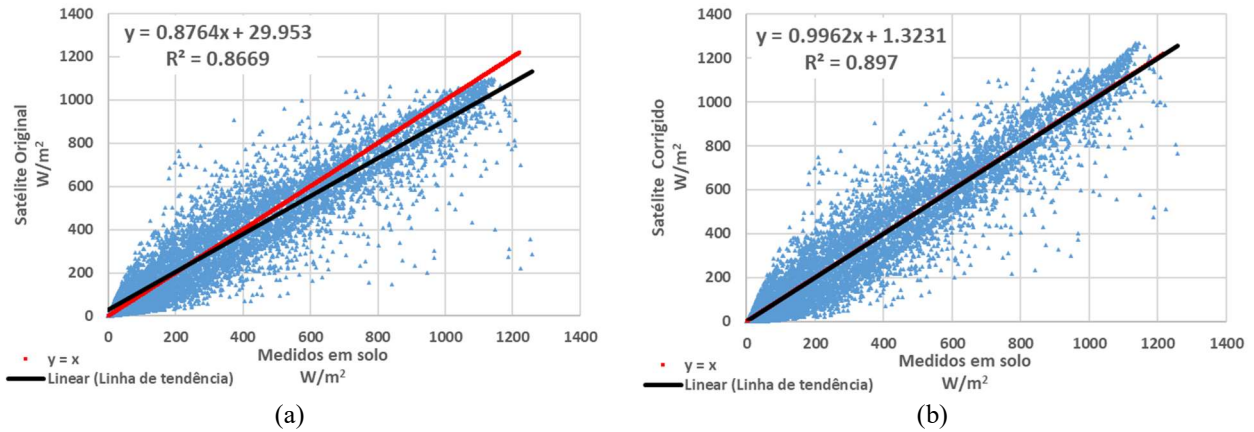


Figura 4 – Gráficos de dispersão do método de *site adaptation* aplicado a um período de um ano (01/01/22 a 31/12/22) de dados medidos em solo com resolução de 30 minutos: (a) satélite original x medidos em solo; (b) satélite corrigido x medidos em solo.

A Fig. 5 apresenta a dispersão entre os dados de satélite e os dados medidos em solo, utilizando dados com resolução de 60 minutos para o período de um ano de medição (01/01/22 a 31/12/22).

Observa-se um coeficiente de determinação mais elevado do que o apresentado pela Fig. 4. Adicionalmente, a superestimação de dados de irradiância mais baixa e superestimação de dados de irradiância mais alta pelos dados de satélite é reduzido, possivelmente em função da atenuação de picos e vales nas medidas de irradiância, intrínseca ao cálculo de média dos valores de um intervalo (Nascimento et al., 2020).

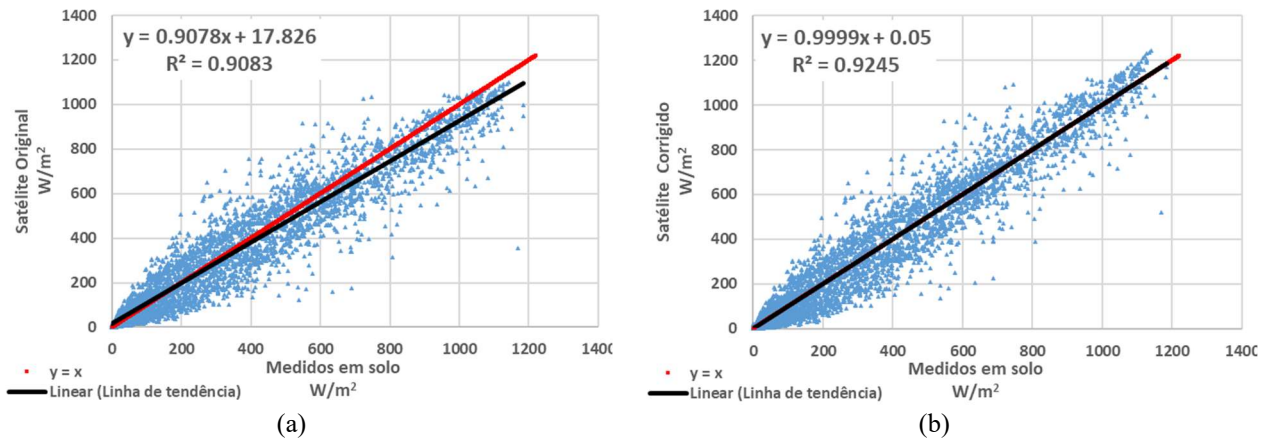


Figura 5 – Gráficos de dispersão do método de *site adaptation* aplicado a um período de um ano (01/01/22 a 31/12/22) de dados medidos em solo com resolução de 60 minutos: (a) satélite original x medidos em solo; (b) satélite corrigido x medidos em solo.

As Fig. 6 e 7 apresentam, para o dia 19/01/22, a comparação de dados de GHI registrados em solo com dados de satélite originais e corrigidos com resolução de 30 e 60 minutos, respectivamente.

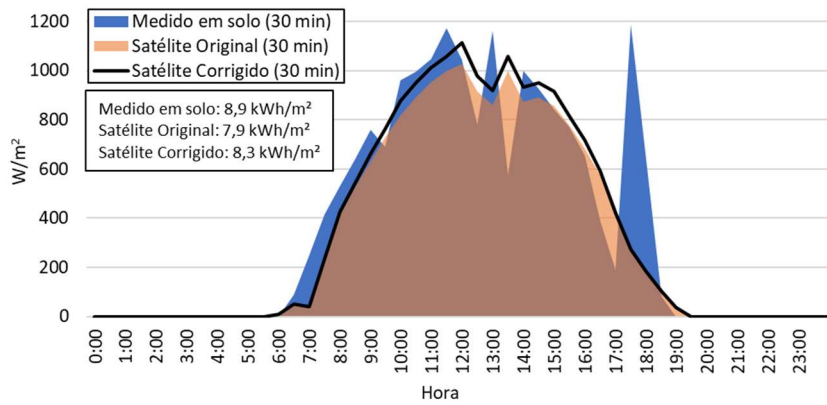


Figura 6 – Comparação de dados medidos em solo com dados de satélite originais e corrigidos em resolução de 30 minutos.

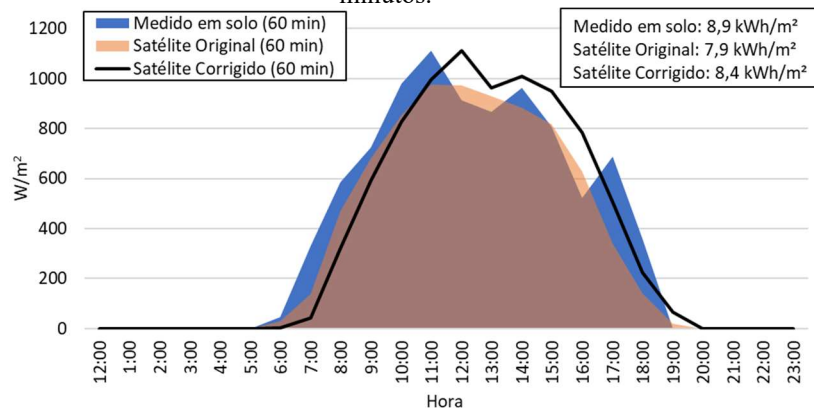


Figura 7 – Comparação de dados medidos em solo com dados de satélite originais e corrigidos em resolução de 60 minutos.

A aplicação do método de *site adaptation* utilizando dados com resolução de 60 minutos resultou em uma correção do valor de irradiação diária proveniente dos dados de satélite de 7,9 para 8,4 kWh/m². A correção é 0,93% maior quando comparado ao método utilizando dados de 30 minutos.

3.2 Análise do período de dados

As imagens das Figs. 8 a 11 apresentam os gráficos de dispersão resultantes da aplicação do método de *site adaptation* utilizando dois, três, quatro e cinco anos de dados medidos em solo, respectivamente. As tendências indicadas na Fig. 4 também são observadas para os outros períodos de medição. Em todos os casos o coeficiente de determinação (R^2) apresenta melhora, indicando um melhor ajuste com relação aos dados medidos em solo.

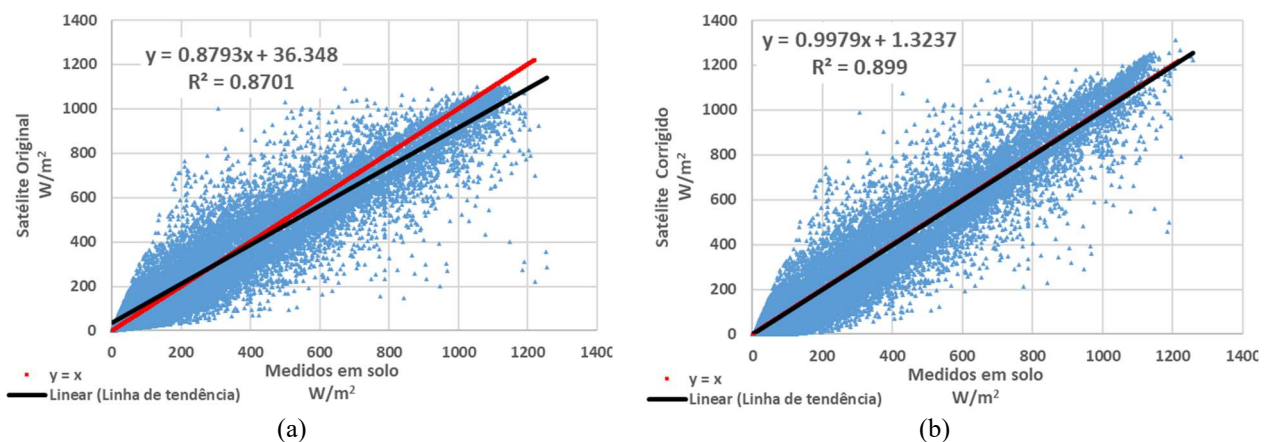


Figura 8 – Gráficos de dispersão do método de *site adaptation* aplicado a um período de dois anos (01/01/21 a 31/12/22) de dados medidos em solo com resolução de 30min: (a) satélite original x medidos em solo; (b) satélite corrigido x medidos em solo.

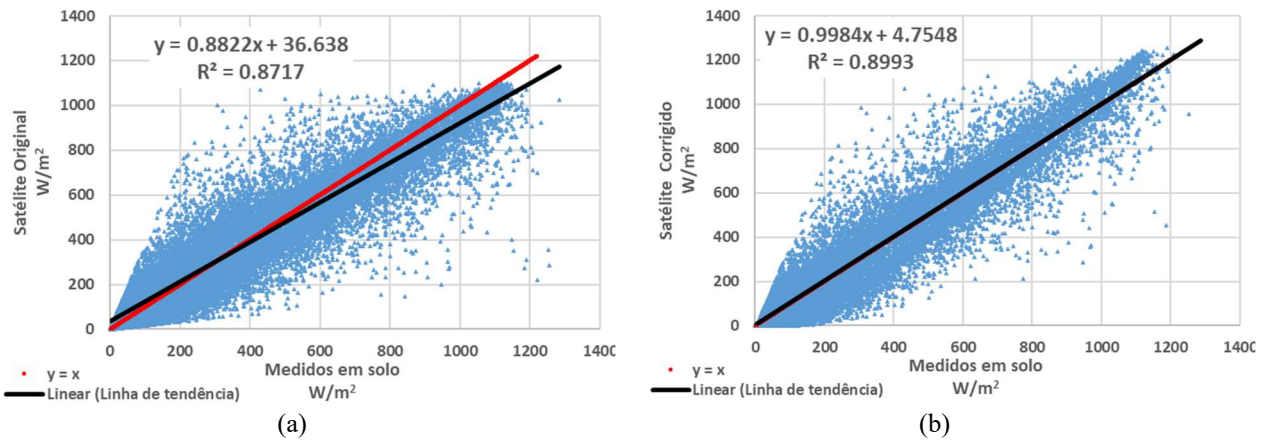


Figura 9 – Gráficos de dispersão do método de *site adaptation* aplicado a um período de três anos (01/01/20 a 31/12/22) de dados medidos em solo com resolução de 30min: (a) satélite original x medidos em solo; (b) satélite corrigido x medidos em solo.

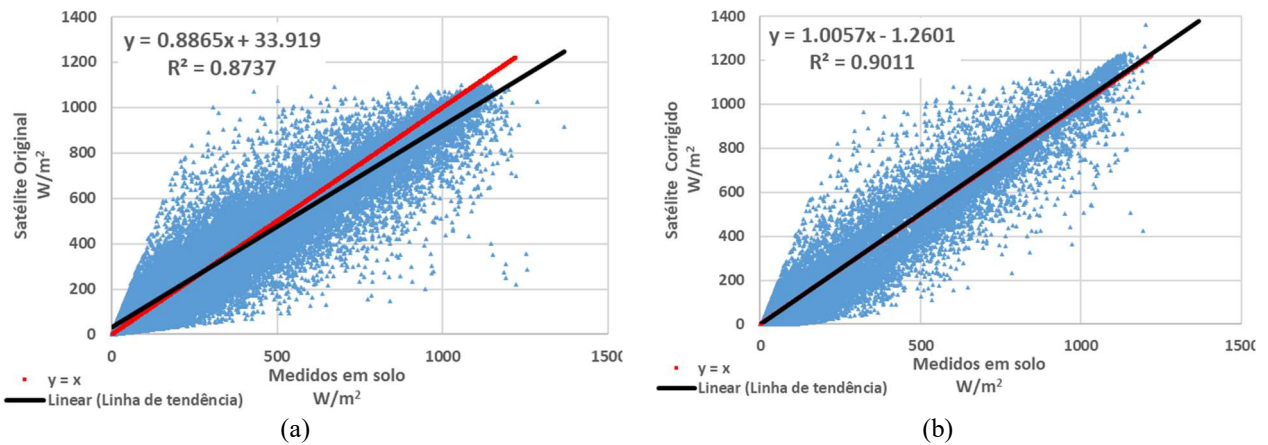


Figura 10 – Gráficos de dispersão do método de *site adaptation* aplicado a um período de quatro anos (01/01/19 a 31/12/22) de dados medidos em solo com resolução de 30min: (a) satélite original x medidos em solo; (b) satélite corrigido x medidos em solo.

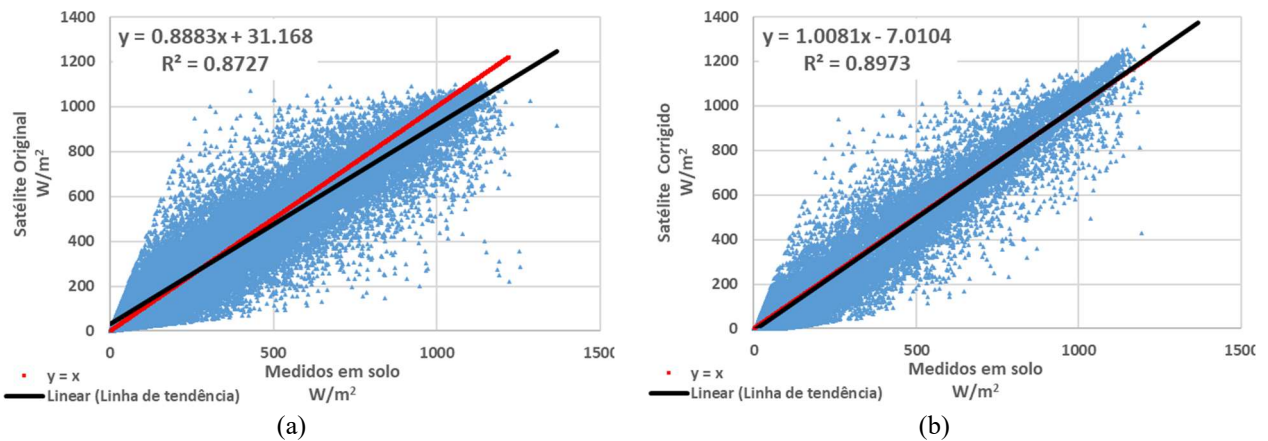


Figura 11 – Gráficos de dispersão do método de *site adaptation* aplicado a um período de cinco anos (01/01/18 a 31/12/22) de dados medidos em solo com resolução de 30min: (a) satélite original x medidos em solo; (b) satélite corrigido x medidos em solo.

3.3 Avaliação do impacto de diferentes períodos de medição em solo e resolução temporal dos dados

A Tab. 1 apresenta os erros calculados a partir das Eq. (4) e (5) para cada análise de *site adaptation* apresentada. Os erros são calculados para o período de intersecção entre os dados medidos em solo e dados de satélite corrigidos.

Tabela 1 – Indicadores de erro calculados para a aplicação do método de *site adaptation* utilizando diferentes períodos e resoluções temporais de dados.

Resolução Temporal	60 minutos		30 minutos				
Indicador \ Período	1 ano		1 ano	2 anos	3 anos	4 anos	5 anos
RMSE (W/m ²)	87,67	104,99	103,07	103,26	102,94	103,58	
RMSE (%)	24,23	27,76	27,55	27,10	26,96	26,94	
MBE (W/m ²)	64,39	76,62	75,28	75,46	75,46	76,30	
MBE (%)	17,80	20,26	20,12	19,80	19,76	19,85	

Para um período de um ano de dados medidos, o aumento da resolução temporal de 30 para 60 minutos resultou em uma diminuição de todos os indicadores de erro calculados. Como o RMSE é mais impactado devido a diferenças maiores entre os dados, a resolução de dados de 60 minutos ofereceu o menor percentual de espalhamento relativo aos dados (24,23%).

À medida que o período de dados aumenta, o erro é reduzido, indicando que um período maior de dados medidos tem um benefício no resultado final, com um MBE (%) variando de 20,26% considerando um período de 1 ano de dados para 19,76%, considerando um período de 4 anos de dados. Em termos de RMSE, que indica como os dados estão espalhados em torno da linha de melhor ajuste, as análises considerando períodos diferentes mostram que o menor percentual de espalhamento relativo aos dados seria para um período de 5 anos de medição de dados (26,94%).

A Tab. 2 apresenta os resultados anuais da correção dos dados de satélite através do método de *site adaptation* descritos neste trabalho. Como referência, os dados do 2º Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al., 2017) fornece um valor anual de 1.590 kWh/m² para as coordenadas do Laboratório Fotovoltaica/UFSC.

Tabela 2 – Resultado anual da correção dos dados de satélite pelos métodos de *site adaptation* para diferentes períodos e resoluções de dados.

Resolução		60 minutos			30 minutos									
Período		1 ano			1 ano		2 anos		3 anos		4 anos		5 anos	
Ano	Satélite Original kWh/m ²	Corrigido kWh/m ²	%	Corrigido kWh/m ²	%	Corrigido kWh/m ²	%	Corrigido kWh/m ²	%	Corrigido kWh/m ²	%	Corrigido kWh/m ²	%	
2007	1594	1661	4,24	1656	3,91	1631	2,36	1625	1,95	1631	2,35	1640	2,88	
2008	1530	1591	3,98	1588	3,76	1560	1,95	1554	1,54	1560	1,97	1569	2,53	
2009	1530	1593	4,14	1589	3,88	1563	2,17	1557	1,75	1563	2,15	1571	2,70	
2010	1510	1569	3,89	1566	3,74	1537	1,81	1531	1,40	1538	1,84	1546	2,42	
2011	1571	1635	4,06	1631	3,83	1605	2,16	1599	1,75	1605	2,16	1614	2,71	
2012	1679	1752	4,36	1746	3,98	1724	2,69	1717	2,28	1723	2,65	1732	3,16	
2013	1597	1663	4,16	1658	3,85	1633	2,27	1626	1,86	1633	2,27	1642	2,81	
2014	1656	1728	4,37	1722	4,03	1700	2,65	1693	2,25	1699	2,62	1708	3,13	
2015	1468	1522	3,68	1521	3,62	1489	1,44	1483	1,03	1490	1,50	1499	2,12	
2016	1595	1661	4,17	1656	3,83	1630	2,21	1623	1,80	1630	2,22	1639	2,76	
2017	1643	1713	4,27	1708	3,95	1684	2,50	1677	2,10	1683	2,48	1692	3,00	
2018	1574	1641	4,27	1636	3,95	1612	2,40	1605	1,99	1611	2,37	1620	2,90	
2019	1587	1653	4,18	1649	3,94	1625	2,39	1618	1,99	1624	2,37	1633	2,89	
2020	1686	1761	4,47	1753	4,02	1734	2,84	1726	2,42	1733	2,78	1741	3,28	
2021	1595	1661	4,09	1657	3,85	1632	2,30	1626	1,90	1632	2,30	1640	2,83	
2022	1607	1675	4,29	1670	3,96	1647	2,54	1641	2,12	1647	2,50	1655	3,02	
Média	1589	1655	4,16	1650	3,88	1625	2,29	1619	1,88	1625	2,28	1634	2,82	

Observa-se que, para o período de um ano de medição, os valores adaptados dos dados com resolução temporal de 60 minutos foram ajustados com um acréscimo médio de 4,16% em relação ao dado de satélite original. No caso dos dados de 30 minutos, essa correção apresentou, em média, um acréscimo de 3,88%. Para dados com resolução de 30 minutos, o ajuste médio aplicado foi de +2,29% (2 anos), +1,88% (3 anos), +2,28% (4 anos) e +2,82% (5 anos).

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo apresentar a aplicação do método de *site adaptation* de regressão linear utilizando faixas de irradiância para dados medidos na estação solarimétrica do Laboratório Fotovoltaica/UFSC para diferentes períodos (1-5 anos) e resoluções de dados (30 e 60 min).

Foi observado que o aumento do período de medição dos dados em solo (com resolução de 30 minutos) não acarretou mudanças significativas nos coeficientes aplicados na Eq. (1).

Para um período de um ano, a subestimação da irradiação diária em dias de céu claro utilizando dados com resolução de 60 minutos levou a um ajuste maior de correção histórica dos dados de satélite (+4,16%) com relação à correção

aplicada aos dados com resolução de 30 minutos (+3,88%). Analisando períodos diferentes de medição de dados utilizando uma resolução de 30 minutos, observou-se que os menores erros ocorreram para os maiores períodos analisados (4 e 5 anos).

De modo a averiguar o comportamento do método avaliado e resultados obtidos, os autores planejam, em trabalhos futuros, utilizar um período maior de dados medidos e adicionais resoluções diferentes de medição de dados em solo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CTG Brasil pelo suporte financeiro a este estudo através do projeto PD-10381-0620/2020 realizado em parceria com o SENAI-RN ISI-ER e a UNESP-Ilha Solteira no âmbito do programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Vale destacar ainda o suporte dos demais parceiros do laboratório Fotovoltaica-UFSC, que viabilizaram, através dos programas de PDI ANELL e ANP, a aquisição de equipamentos e sensores essenciais para a realização deste estudo. Os autores agradecem também aos colegas do laboratório Fotovoltaica-UFSC que não participaram diretamente desta pesquisa, mas ajudam diariamente na manutenção da infraestrutura e dos experimentos do laboratório, e pelas discussões frutíferas sobre os temas abordados nesse artigo. Em especial, os autores desejam agradecer o colega Sylvio Mantelli, responsável pela instalação, manutenção e operação da estação solarimétrica cujos dados foram empregados nesta análise. A.M.F.G. e M.B. agradecem ainda o apoio recebido da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) através de suas bolsas de doutorado.

REFERÊNCIAS

- EPE. Leilões de Energia Instruções para cadastramento nos leilões. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/leiloes-de-energia/leiloes/instrucoes-para-cadastramento>>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- Mantelli Neto, S. L.; Martins, G. L.; Rüther, R. Uncertainty Analysis of Solar Monitoring Station: A Case Study. Proceedings of the ISES Solar World Congress 2019. Anais... Em: ISES SOLAR WORLD CONGRESS 2019/IEA SHC INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLAR HEATING AND COOLING FOR BUILDINGS AND INDUSTRY 2019. Santiago, Chile: International Solar Energy Society, 2019. Disponível em: <<http://proceedings.ises.org/citation?doi=swc.2019.44.03>>. Acesso em: 13 nov. 2023
- Mieslinger, T. et al. A New Method for Fusion of Measured and Model-derived Solar Radiation Time-series. Energy Procedia, Proceedings of the 2nd International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC 2013). v. 48, p. 1617–1626, 1 jan. 2014.
- Narvaez, G. et al. Machine learning for site-adaptation and solar radiation forecasting. Renewable Energy, v. 167, p. 333–342, abr. 2021. \
- Nascimento, L.R., Braga, M., Campos, R.A., Napolini, H.F., Rüther, R., Performance assessment of solar photovoltaic technologies under different climatic conditions in Brazil, Renewable Energy, v. 146, p. 1070-1082, 2020.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L. D., Rüther, R., Abreu, S. L. D., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., Souza, J. G. D., 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª ed.: INPE. São José dos Campos - SP.
- Perez, R.; Seals, R.; Zelenka, A. Comparing satellite remote sensing and ground network measurements for the production of site/time specific irradiance data. Solar Energy, v. 60, n. 2, p. 89–96, 1 fev. 1997.
- Pinto, G. X. D. A. et al. SITE ADAPTATION: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASO PARA FLORIANÓPOLIS-SC. Revista Brasileira de Energia Solar, v. 14, n. 1, p. 1–10, 23 nov. 2023.
- Polo, J. et al. Preliminary survey on site-adaptation techniques for satellite-derived and reanalysis solar radiation datasets. Solar Energy, v. 132, p. 25–37, 1 jul. 2016.
- Polo, J. et al. Benchmarking on improvement and site-adaptation techniques for modeled solar radiation datasets. Solar Energy, v. 201, p. 469–479, maio 2020.
- Polo, J.; Martín, L.; Vindel, J. M. Correcting satellite derived DNI with systematic and seasonal deviations: Application to India. Renewable Energy, v. 80, p. 238–243, 1 ago. 2015.
- Ruiz-Arias, J. A. et al. A High-Resolution Topographic Correction Method for Clear-Sky Solar Irradiance Derived with a Numerical Weather Prediction Model. Journal of Applied Meteorology and Climatology, v. 50, n. 12, p. 2460–2472, dez. 2011.
- Sengupta, M. et al. Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data for Solar Energy Applications: Third Edition. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.osti.gov/servlets/purl/1778700/>>. Acesso em: 14 nov. 2023.

EVALUATION OF THE IMPACT OF DATA PERIOD AND RESOLUTION IN SITE ADAPTATION METHOD: A CASE STUDY FOR FLORIANÓPOLIS-SC

Abstract. For local assessments, the evaluation of solar resources is optimally conducted through measurements obtained from ground-based solar radiometric stations. However, in situations where the distance to the nearest station is

substantial, the utilization of satellite data in the form of historical series becomes an ideal option, particularly for regional or continental-scale analyses. Despite the significant reliability demonstrated by satellite-based methods, they may still manifest noticeable discrepancies in comparison to values obtained from ground-based stations. With the objective of ensuring the reliability of photovoltaic energy generation outcomes at specific locations, a satellite data correction method, referred to as site adaptation, is implemented. This method incorporates ground-based measurements to minimize errors and enhance the agreement between satellite-derived data and ground-based measurements. The study aims to present the application of this method through linear regression, considering different irradiance ranges, using data from the solar radiometric station at the Laboratory Fotovoltaica/UFSC. This is accomplished by exploring various measurement periods and data resolutions to attain a more comprehensive and accurate understanding of the available solar resource. The results showed that, for a one-year period, data with a 60-minute resolution exhibited lower errors when compared to 30-minute data. Additionally, the method led to a greater adjustment of historical correction for satellite data (+4.16%) compared to the correction applied to 30-minute resolution data (+3.88%). Finally, when comparing different measurement periods, it was observed that the smallest errors occurred for the longer periods analyzed (4 and 5 years).

Keywords: *Site adaptation, solar resource, satellite-derived data*