

## SITE ADAPTATION: METODOLOGIAS E ESTUDO DE CASO PARA FLORIANÓPOLIS-SC

**Gustavo Xavier de Andrade Pinto** – gustavoxap@gmail.com  
**Amanda Mendes Ferreira Gomes** – amandamendesfg@gmail.com  
**Marília Braga** - mbraga.ufsc@gmail.com  
**João Paulo Alves Veríssimo** - verissimo.joaop@gmail.com  
**Lucas Rafael do Nascimento** - nascimento.ufsc@gmail.com  
**Ricardo Rütther** – ricardo.ruther@ufsc.br  
Universidade Federal de Santa Catarina  
Campus Universitário Trindade, Caixa Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900

**Resumo.** Para análise locais, o recurso solar é melhor avaliado por meio de medições em estações solarimétricas em solo, porém, quando a distância para a estação mais próxima é elevada, a avaliação do recurso solar por meio de dados de satélites (séries históricas) se torna a opção ideal, principalmente para análises regionais ou continentais. Apesar de métodos baseados em satélites apresentarem altos níveis de confiança, ainda podem apresentar diferenças significativas quando comparados a valores medidos por estações em solo. Com o objetivo de assegurar a confiabilidade dos resultados de geração FV no local, métodos de correção de dados de satélite, conhecidos como *site adaptation*, utilizando dados medidos em solo por um curto período de tempo, são implementados. A finalidade destes métodos é minimizar o erro e melhorar o desvio entre os dados derivados de satélite e medições em solo. O objetivo deste trabalho é apresentar a aplicação do método de *site adaptation* de regressão linear para dados medidos na estação solarimétrica do Laboratório Fotovoltaica/UFSC. Adicionalmente, foram aplicadas complementações deste método dividindo-se os dados em dias de céu claro e nublado e, posteriormente, por faixas de irradiância. Foi observado que o método de regressão linear apresentou erros relativos de 22,35% (rRMSE) e 1,61% (rMBE). A metodologia de divisão dos dias de céu claro apresentou uma melhora de 0,1% no rRMSE e 0,14% no rMBE. Por fim, a metodologia de divisão por faixas de irradiância apresentou um resultado de rRMSE 0,88% pior e um rMBE 0,6% mais próximo à tendência ideal.

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

### 1. INTRODUÇÃO

A avaliação do recurso solar disponível é imprescindível para a análise de viabilidade de usinas fotovoltaicas, desde as etapas iniciais de estudo do local até as finais, onde resultados com baixa incerteza são necessários. Para análise locais, o recurso solar é melhor avaliado por meio de medições em estações solarimétricas em solo, assumindo que seus equipamentos permanecem calibrados e em pleno funcionamento. Quando se dispõe de uma densidade suficiente de estações em solo, métodos de interpolação de dados são apropriados para avaliar o recurso solar de um local (Ruiz-Arias et al., 2011). Porém, quando a distância entre as estações for maior que 30 km, a avaliação do recurso solar por meio de dados de satélites é indicada (Perez et al., 1997), principalmente para análises regionais ou continentais.

Na etapa de planejamento de usinas solares é necessário considerar um período de no mínimo dez anos de dados do recurso solar no local (Mieslinger et al, 2014). Porém, estações solarimétricas usualmente não estão disponíveis no local de instalação da usina e no período necessário de avaliação. Sendo assim, devido a questões financeiras e de planejamento das etapas iniciais de projetos fotovoltaicos, são utilizados dados de satélite para análises de períodos longos.

Contudo, apesar de métodos baseados em satélites apresentarem altos níveis de confiança (Ineichen, 2014), ainda podem apresentar diferenças significativas quando comparados a valores medidos em solo. Com o objetivo de assegurar a confiabilidade dos resultados de geração no local, métodos de correção de dados de satélite, conhecidos como *site adaptation* (NREL, 2021), utilizando dados medidos em solo por um período curto de tempo são utilizados. A finalidade destes métodos é minimizar o erro e melhorar o desvio entre os dados derivados de satélite e medições em solo.

Polo et al. (2015) apresentaram um método de *site adaptation* baseado em regressão linear para remoção do *bias* analisando dados de irradiância direta utilizando nove anos de dados de satélite e um ano de dados medidos no noroeste da Índia. Os autores observaram uma subestimação de valores de irradiância nos períodos secos. Polo et al. (2020) apresentaram uma revisão detalhada de possíveis métodos anteriormente revisados (Polo et al., 2016), mostrando duas famílias de metodologias: as baseadas em regressão linear e as baseadas em *quantile mapping*. Os autores mostraram que dados medidos em solo por um período de um ano são apropriados para o treinamento de metodologias na maioria dos locais. Concluíram que é difícil estabelecer um método universal que funcionaria com a mesma eficiência em todos os locais, que quanto maior for a qualidade dos dados medidos em solo, maior será a melhoria aplicada aos dados de satélite. Aguiar et al. (2019) utilizaram o método de regressão linear de correção e propuseram uma divisão de análises para os dias identificados como céu claro e nublado.

O objetivo deste trabalho é aplicar o método de *site adaptation* apresentado por Polo et al. (2015) e Aguiar et al. (2019) para o Laboratório Fotovoltaica/UFSC, em Florianópolis-SC. Adicionalmente será aplicada a análise de divisão de dias proposta por Aguiar et al. (2019) e sugerido um novo método de divisão das análises por faixas de irradiância.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Aquisição de dados de satélite

Os dados de satélite utilizados neste trabalho são da empresa de dados históricos de irradiância solar Solcast (<https://solcast.com/>). Foram utilizados séries históricas de dados de irradiância global horizontal (GHI) de 14 anos (2007 a 2020) para a localização do Laboratório Fotovoltaica/UFSC (lat:-27.431018°; long:-48.440978°). Os dados foram extraídos na resolução temporal de 30 minutos. A metodologia e validação do dataset de irradiância derivado de satélite proveniente do Solcast é apresentado por Bright (2019).

### 2.2 Aquisição de dados medidos em solo

Os dados de irradiância horizontal global (GHI) utilizados foram obtidos a partir das leituras do piranômetro Kipp & Zonen, modelo SMP22, instalada na estação solarimétrica do Laboratório Fotovoltaica/UFSC, localizado em Florianópolis-SC. A estação solarimétrica segue as melhores práticas de instalação e sistemas de aquisição de dados, bem como sensores com o mais alto nível de confiabilidade e precisão. Para garantir as melhores práticas de monitoramento, os requisitos da BSRN (BSRN, 2010) para rotinas de instalação e observação são seguidos. Uma imagem geral da plataforma de sensores pode ser observada na Fig. 1. Uma descrição mais detalhada pode ser encontrada em Mantelli, et al. (2019).



Figura 1 – Estação solarimétrica do Laboratório Fotovoltaica/UFSC.

A resolução temporal dos dados do sensor de irradiação é de um segundo. Na maioria dos casos, a média do intervalo de um minuto é calculada, extraindo os desvios máximo, mínimo e padrão de seu intervalo. Para este estudo, os dados foram integrados na resolução de 30 minutos, adequando na resolução dos dados de satélite, para o período de 22 de abril de 2020 a 10 de maio de 2021 (385 dias).

### 2.3 Site adaptation

A seguir são apresentadas as metodologias aplicadas neste trabalho. Na metodologia 0, os cálculos para correção dos dados de satélite são utilizados considerando todo o período do *dataset*, enquanto as metodologias 1 e 2 dividem o *dataset* em subgrupos para então se aplicar a metodologia de regressão linear em cada um deles, separadamente.

#### 2.3.1 Metodologia 0 (método “puro”)

Este trabalho utiliza o método de regressão linear estimando fatores de correção para corrigir o *bias* entre as duas séries de dados a partir do gráfico de dispersão entre os dados medidos em solo e os de satélite. Os pontos do ajuste linear apresentam um desvio com relação ao ajuste linear ideal.

O ajuste linear obtido no gráfico de dispersão entre os dados de satélite e os dados medidos em solo são estimados usando o método dos mínimos quadrados. Os coeficientes da regressão linear são aplicados para assegurar o ajuste ideal dos dados de satélite, como mostra a 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, para o período de 22 de abril de 2020 a 10 de maio de 2021;

$Y_{sat}$  = Dados GHI de satélite da Solcast, do período de 22 de abril de 2020 a 10 de maio de 2021;

$X_{solo}$  = Dados GHI medidos em solo, do período de 22 de abril de 2020 a 10 de maio de 2021;  
 {a, b} = Coeficientes da regressão linear.

A partir dos dados corrigidos de satélite, avaliados dentro do período de obtenção dos dados medidos, torna-se necessário aplicar uma correção para todo o período de dados históricos (2007-2020). Para tal, é plotado o gráfico de dispersão entre os dados corrigidos de satélite e os dados originais de satélite. Os novos coeficientes da regressão linear entre os dados são aplicados a partir da Eq. (2).

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

onde:

$Y_{sat}^{novo}$  = Novos dados de GHI de satélite corrigidos através de dados medidos em solo, para o período de 2007 a 2020;

$Y_{sat}$  = Dados GHI de satélite da Solcast, para o período de 2007 a 2020;

{C, D} = Coeficientes da regressão linear.

### 2.3.2 Metodologia 1 (dias de céu claro/nublado)

A metodologia 1 é um passo de complementação da metodologia 0. O banco de dados medidos em solo é dividido em duas partes: a primeira para dias de céu mais claro e a segunda para dias mais nublados. O objetivo é se obter uma precisão maior para os dias de céu claro, pois são nestes dias que o sistema fotovoltaico apresenta maior geração de energia.

Os dias de céu mais claro são selecionados com base no *Clear Sky Index* (Kt), descrito pela Eq. (3). Para valores de irradiação diária de dias de céu claro foi utilizado valores obtidos do modelo do PVsyst (Mermoud, 2021). Para fins de teste de método foi determinado um valor de Kt maior do que 0,65 para designar dias de céu mais claro.

$$Kt = \frac{\text{Irradiação diária medida em solo}}{\text{Irradiação diária Clear Sky}} \quad (3)$$

A metodologia 0 é então aplicada separadamente para os dados permanentes dos dias de céu mais claro e dias de céu mais nublado. Como resultado tem-se duas bases históricas (2007-2020), que quando unidas irão compor a totalidade dos dados históricos.

### 2.3.2 Metodologia 2 (faixas de irradiância)

A metodologia 2 propõe uma nova divisão do banco de dados, dividido por faixas de irradiância. Os dados medidos são divididos em grupos, cada um representando uma faixa de 200 W/m<sup>2</sup> de 0 a 1.200 W/m<sup>2</sup>, totalizando seis grupos distintos. Após a divisão, a metodologia 0 é aplicada separadamente por grupo, totalizando uma base histórica (2007-2020) para cada faixa de irradiância, que, quando integralizadas irão compor a base histórica completa.

## 2.4 Cálculo de indicadores de erros

Para avaliar o desempenho de cada metodologia e poder compará-las de maneira adequada, foram utilizadas duas métricas de erro: o erro absoluto médio (MBE – Mean Bias Error) e a raiz quadrada do quadrado médio do erro (RMSE – Root Mean Square Error). O MBE indica como está a tendência do modelo e é apresentado na Eq. (4). A Eq. (5) mostra o RMSE, que indica como estão espalhados os dados em torno da linha de melhor ajuste. A partir da divisão dos erros absolutos pela média de dados GHI medidos em solo são obtidos os erros relativos %rMBE e %rRMSE.

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

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

## 2.5 Visão geral

A Fig. 2 apresenta um diagrama que traz uma visão geral da metodologia aplicada neste estudo.

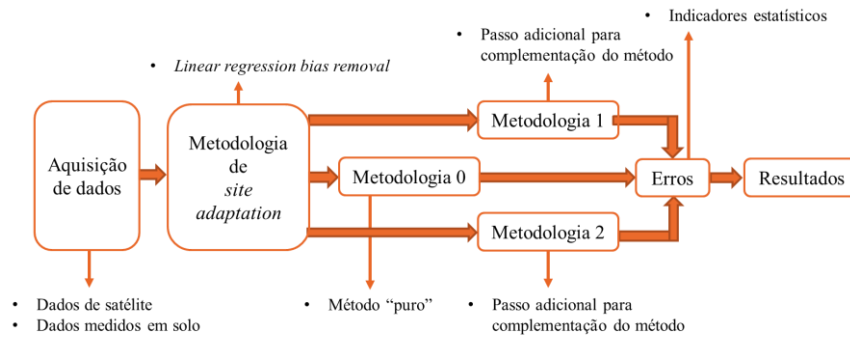


Figura 2 – Visão geral do método aplicado neste estudo.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Metodologia 0 (método "puro")

A Fig. 3a apresenta a dispersão entre os dados de satélite e os dados medidos em solo, para o período analisado (22 de abril de 2020 a 10 de maio de 2021). Observa-se que os coeficientes da regressão linear são  $\{0,9355; 15,296\}$ . A figura mostra que os dados de irradiância mais baixos tendem a ser superestimados pelos dados de satélite, e os dados de irradiância mais alta tendem a ser subestimados.

A partir da Eq. (1) o novo *dataset* de dados de satélite foi calculado. A Fig. 3b mostra sua dispersão com relação aos dados medidos em solo. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) apresenta melhora com relação ao da Fig. 3a, indicando um melhor ajuste com relação aos dados medidos em solo.

A dispersão entre o novo *dataset* de dados de satélite e os dados de satélite originais é apresentado na Fig. 3c. Os coeficientes a serem aplicados na Eq. (2) são  $\{1,0527; 7,6981\}$ .

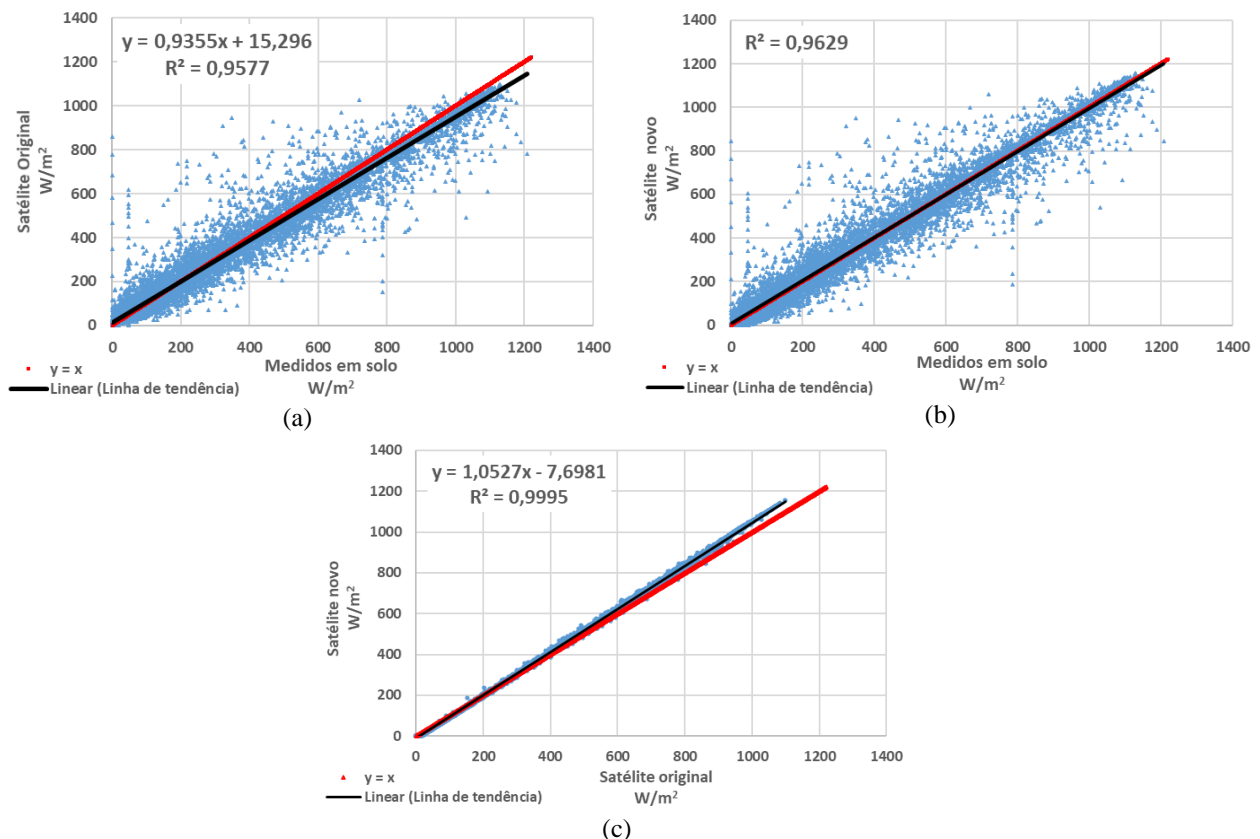


Figura 3 – Gráficos de dispersão para todo o período disponível de dados medidos em solo: (a) satélite original x medidos em solo; (b) satélite novo x medidos em solo; e (c) satélite novo x satélite original.

#### 3.2 Metodologia 1 (dias de céu claro / nublado)

A Fig. 4 apresenta, para o período analisado, a irradiação diária medida em solo, a irradiação diária de um dia de céu claro e a irradiação diária correspondente a um  $K_t = 0,65$ .

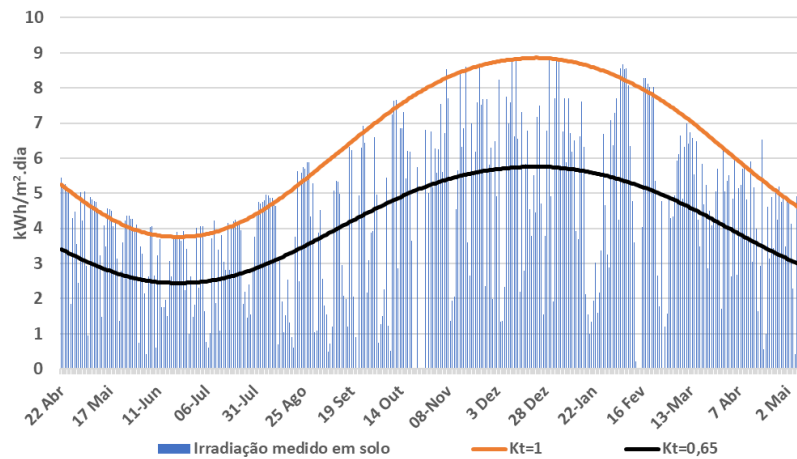


Figura 4 – Irradiação diária medida (barras azuis), irradiação correspondente a  $K_t=1$  (linha laranja) e irradiação correspondente a  $K_t=0,65$  (linha preta).

Para o período analisado, ao utilizar-se este valor de  $K_t$  de 0,65, 61,82% dos dias foram designados como dias de céu mais claro, enquanto 38,18% foram determinados como dias de céu mais nublado. Com relação a quantidade total de irradiação recebida, os dias determinados como céu mais claro representam 80,71% do total do período analisado e os dias de céu mais nublado 19,29%.

A Fig. 5a apresenta a dispersão entre os dados de satélite e os dados medidos em solo, somente para os dias de céu mais claro, observa-se um coeficiente de determinação mais elevado do que o apresentado pela Fig. 3a (que contém todos os dias). Os coeficientes da regressão linear são  $\{0,9408; 14,274\}$ . Após o cálculo do novo dataset para os dados de satélite, foi plotada sua dispersão com os dados de satélite originais, como mostra a Fig. 5b. Os coeficientes a serem aplicados na Eq. (2) são  $\{1,0491; 6,8623\}$ .

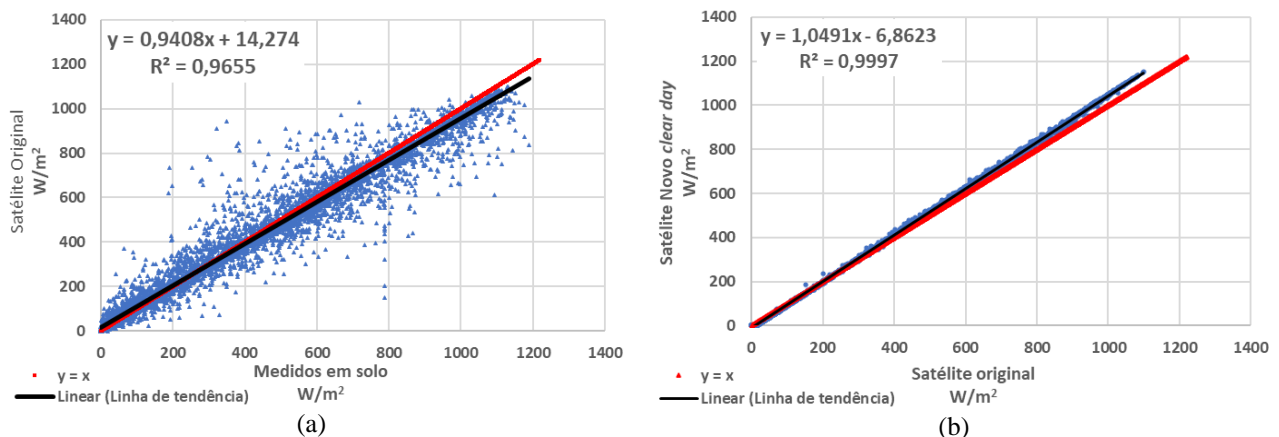


Figura 5 – Gráficos de dispersão para os dias de céu mais claro: (a) satélite original x medidos em solo; e (b) satélite novo x satélite original.

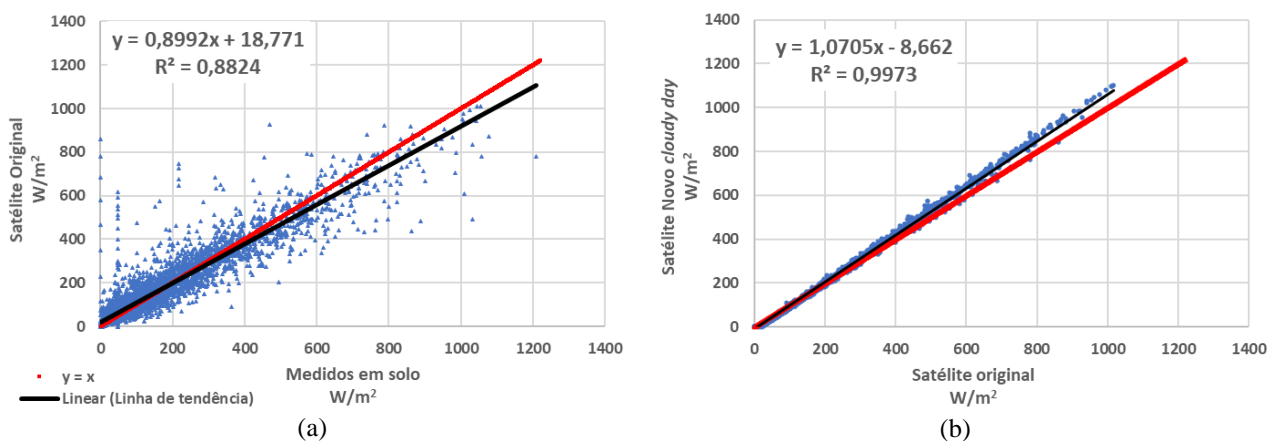


Figura 6 – Gráficos de dispersão para os dias de céu mais nublado: (a) satélite original x medidos em solo; e (b) satélite novo x satélite original.

Analisando-se os resultados para os dias de céu mais nublado, é observado que há uma incidência maior de baixos valores de irradiância e há um desvio maior entre os dados de satélite e os dados medidos em solo, como mostra a Fig. 6a. Os coeficientes da regressão linear para este caso são  $\{0,8992; 18,771\}$ . Após o cálculo do novo dataset para os dados de satélite foi plotada sua dispersão com os dados de satélite originais, como mostra a Fig. 6b. Os coeficientes a serem aplicados na Eq. (2) para este caso são  $\{1,0705; 8,662\}$ .

### 3.3 Metodologia 2 (faixas de irradiância)

As Fig. 7 a 12 apresentam os gráficos de dispersão entre os dados de satélite originais e os dados medidos em solo (a) para faixas de irradiância de 0 a 1.200 W/m<sup>2</sup>, em incrementos de 200 W/m<sup>2</sup>. Após a aplicação da Eq. (1), o novo dado de satélite (corrigido) foi plotado comparado com o original (b).

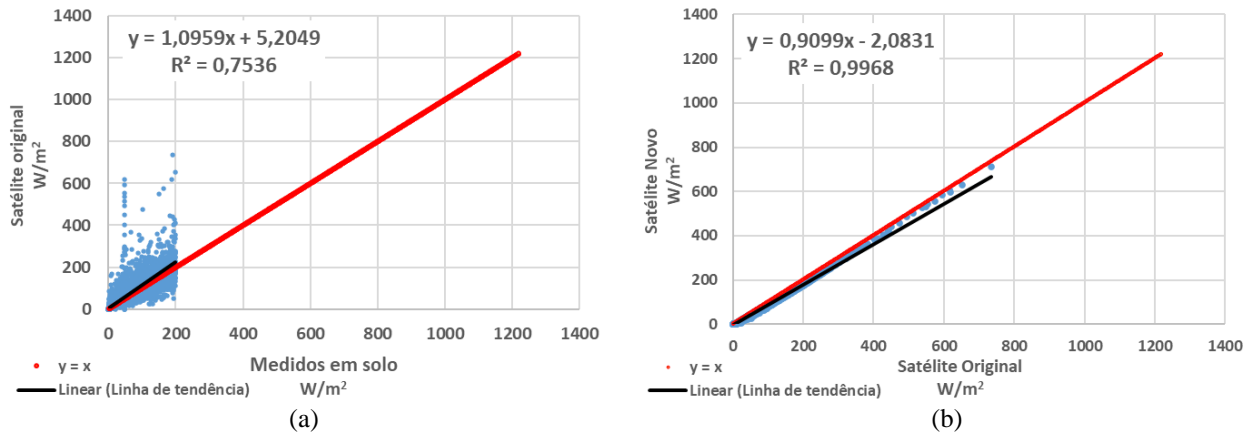


Figura 7 — Gráficos de dispersão para as diferentes faixas de irradiância: (a) Satélite original x Medidos em solo (0 a 200 W/m<sup>2</sup>); e (b) Satélite novo x Satélite original (0 a 200 W/m<sup>2</sup>).

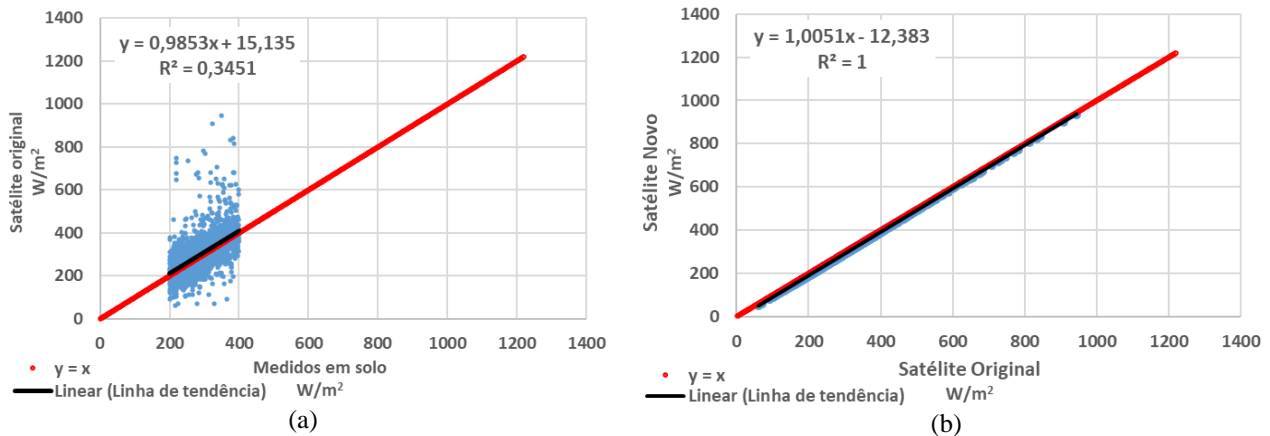


Figura 8 — Gráficos de dispersão para as diferentes faixas de irradiância: (a) Satélite original x Medidos em solo (200 a 400 W/m<sup>2</sup>); e (b) Satélite novo x Satélite original (200 a 400 W/m<sup>2</sup>).

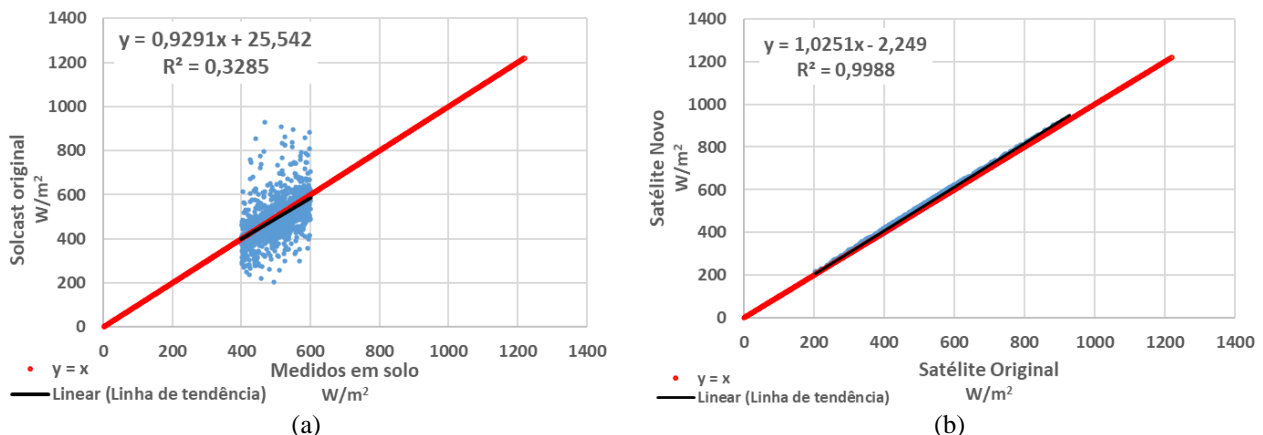


Figura 9 — Gráficos de dispersão para as diferentes faixas de irradiância: (a) Satélite original x Medidos em solo (400 a 600 W/m<sup>2</sup>); e (b) Satélite novo x Satélite original (400 a 600 W/m<sup>2</sup>).

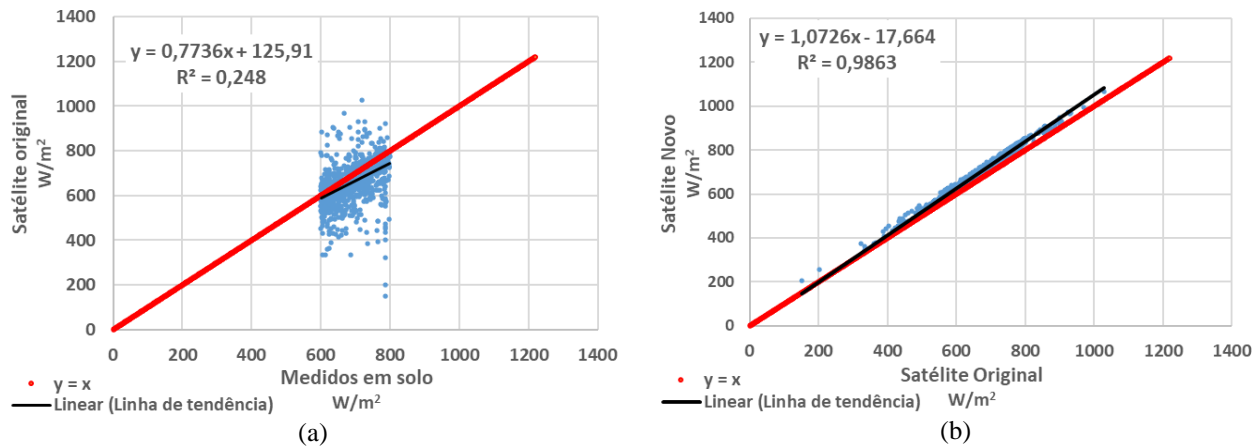


Figura 10 — Gráficos de dispersão para as diferentes faixas de irradiância: (a) Satélite original x Medidos em solo (600 a 800 W/m<sup>2</sup>); e (b) Satélite novo x Satélite original (600 a 800 W/m<sup>2</sup>).

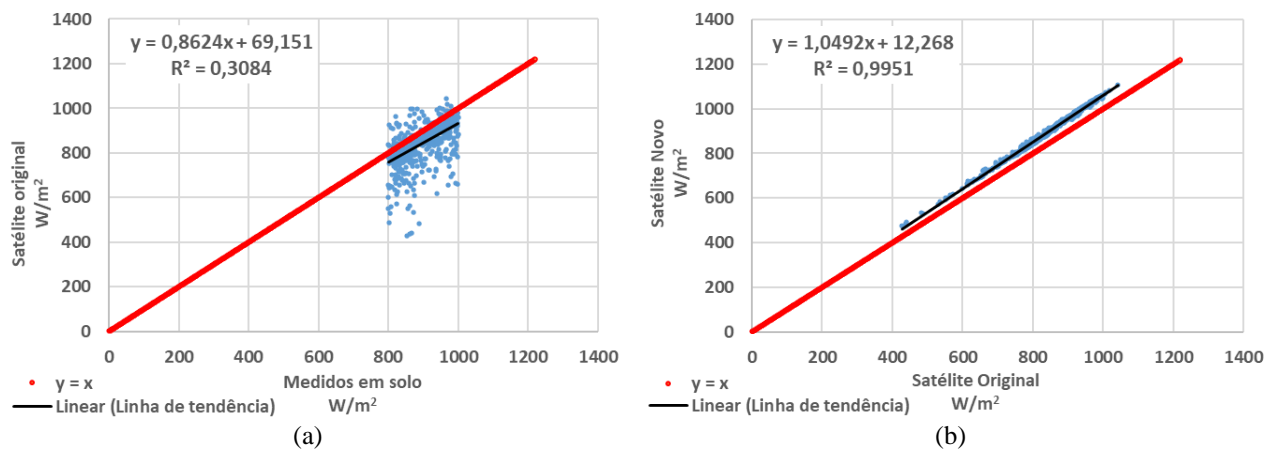


Figura 11 — Gráficos de dispersão para as diferentes faixas de irradiância: (a) Satélite original x Medidos em solo (800 a 1.000 W/m<sup>2</sup>); e (b) Satélite novo x Satélite original (800 a 1.000 W/m<sup>2</sup>).

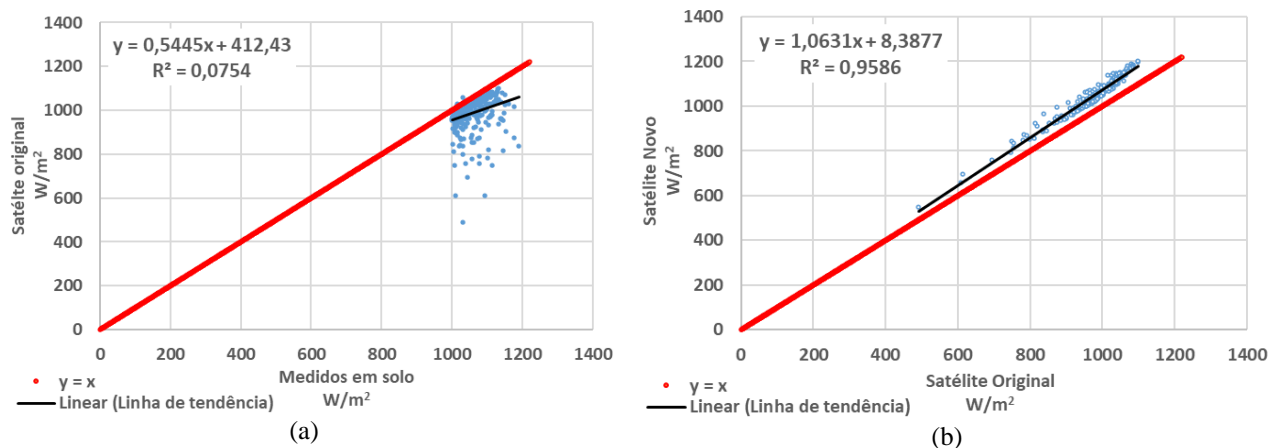


Figura 12 — Gráficos de dispersão para as diferentes faixas de irradiância: (a) Satélite original x Medidos em solo (1.000 a 1.200 W/m<sup>2</sup>); e (b) Satélite novo x Satélite original (1.000 a 1.200 W/m<sup>2</sup>).

Observa-se que para irradiâncias de 0 a 200 W/m<sup>2</sup>, o coeficiente de determinação foi de 0,75 e os dados de satélite superestimam os dados medidos em solo. As faixas de 200 a 1.000 W/m<sup>2</sup> apresentam coeficientes na faixa de 0,25 a 0,34, representando alta dispersão entre os dados. Na faixa de 200 a 400 W/m<sup>2</sup> os dados de satélite novamente superestimam os medidos em solo, porém, a partir de dados medidos em solo acima de 400 W/m<sup>2</sup> ocorre uma subestimação dos dados de satélite, sendo que tal subestimação ocorre em todas as faixas subsequentes.

### 3.4 Comparação entre metodologias

A Tab. 1 apresenta os erros calculados a partir das Eq. (4) e (5) para cada metodologia de site *adaptation* aplicada.

Tabela 1 – Erros calculados para cada metodologia de site *adaptation* aplicada.

| Erros                    | Metodologia 0<br>(método “puro”) | Metodologia 1 ( <i>clear + cloudy day</i> ) |           |             | Metodologia 2<br>(Faixas irradiância) |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|-----------|-------------|---------------------------------------|
|                          |                                  | Todos os dados                              | Céu claro | Céu nublado |                                       |
| RMSE (W/m <sup>2</sup> ) | 59,89                            | 59,62                                       | 59,65     | 59,58       | 62,26                                 |
| rRMSE (%)                | 22,35                            | 22,25                                       | 16,81     | 44,99       | 23,23                                 |
| MBE (W/m <sup>2</sup> )  | 4,33                             | 4,65                                        | 3,48      | 6,47        | -2,69                                 |
| rMBE (%)                 | 1,61                             | 1,47                                        | 0,98      | 4,88        | -1,01                                 |

Em termos de RMSE, que indica como os dados estão espalhados em torno da linha de melhor ajuste, as metodologias 0, 1 e 2 apresentaram valores de 59,89; 59,62 e 62,26 W/m<sup>2</sup>, respectivamente. Por apresentar um RMSE menor, a metodologia 1 oferece o menor percentual de espalhamento relativo aos dados (22,25%).

Observa-se que, para metodologia 1, apesar do valor de RMSE se manter relativamente constante quando analisados somente os dias de céu mais claro e céu mais nublado, este valor representa percentuais diferentes. O erro percentual menor para os dias de céu claro (16,81%) é decorrente que nestes dias ocorrem valores mais altos de irradiância em comparação com dias de céu nublado. Após aplicar a Eq. (2) separadamente para os dias de céu claro e nublado e posteriormente juntar os dois datasets novos criados, o período correspondente a todos os dias apresenta um erro relativo RMSE de 22,25%.

Com relação ao MBE, que indica como está a tendência do modelo, os métodos 0, 1 e 2 apresentaram valores de 4,33; 4,65 e -2,69%, respectivamente. O erro relativo MBE calculado foi de 1,61% para o método original e de 1,47% e -1,01% para os métodos de dias de céu claro / nublado e faixas de irradiância, respectivamente.

Novamente são observados valores de erros menores dentro da metodologia 1 para os dias de céu claro. Isto ocorre devido à maior dispersão observada entre os dados de satélite e os dados medidos para os dias de céu nublado (Fig. 6).

A Tab. 2 apresenta os resultados anuais da correção dos dados de satélite através dos métodos 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/m<sup>2</sup> para as coordenadas do Laboratório Fotovoltaica/UFSC.

Tabela 2 – Resultado anual da correção dos dados de satélite pelos métodos de *site adaptation*.

| Ano   | GHI (kWh/m <sup>2</sup> ) |               |            |                           |            |                    |            |
|-------|---------------------------|---------------|------------|---------------------------|------------|--------------------|------------|
|       | Satélite Original         | Metodologia 0 |            | Metodologia 1             |            | Metodologia 2      |            |
|       |                           | método “puro” | % original | <i>clear + cloudy day</i> | % original | Faixas irradiância | % original |
| 2007  | 1.593                     | 1.643         | +3,12      | 1.662                     | +4,30      | 1.622              | +1,78      |
| 2008  | 1.533                     | 1.579         | +3,03      | 1.602                     | +4,54      | 1.556              | +1,55      |
| 2009  | 1.531                     | 1.577         | +3,04      | 1.600                     | +4,54      | 1.557              | +1,70      |
| 2010  | 1.514                     | 1.559         | +3,00      | 1.582                     | +4,51      | 1.536              | +1,46      |
| 2011  | 1.575                     | 1.624         | +3,09      | 1.647                     | +4,60      | 1.601              | +1,65      |
| 2012  | 1.685                     | 1.739         | +3,22      | 1.765                     | +4,75      | 1.719              | +1,99      |
| 2013  | 1.600                     | 1.650         | +3,12      | 1.674                     | +4,63      | 1.628              | +1,75      |
| 2014  | 1.660                     | 1.713         | +3,19      | 1.738                     | +4,72      | 1.693              | +1,96      |
| 2015  | 1.471                     | 1.514         | +2,93      | 1.536                     | +4,43      | 1.488              | +1,18      |
| 2016  | 1.605                     | 1.655         | +3,12      | 1.679                     | +4,63      | 1.632              | +1,72      |
| 2017  | 1.650                     | 1.703         | +3,18      | 1.728                     | +4,71      | 1.681              | +1,84      |
| 2018  | 1.583                     | 1.633         | +3,12      | 1.657                     | +4,64      | 1.610              | +1,69      |
| 2019  | 1.596                     | 1.646         | +3,15      | 1.670                     | +4,66      | 1.622              | +1,68      |
| 2020  | 1.693                     | 1.739         | +2,74      | 1.769                     | +4,52      | 1.726              | +1,99      |
| Média | 1.592                     | 1.641         | +3,08      | 1.665                     | +4,59      | 1.619              | +1,72      |

Após a aplicação da metodologia 0, observou-se um aumento médio anual de 3,08% dos dados de satélite (rMBE = 1,61%). A metodologia 1 apresentou um aumento médio anual de 4,59% (rMBE=1,47%). Por fim a metodologia 2 apresentou um aumento médio anual de 1,72% (rMBE=-1,01%).

#### 4. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo apresentar a aplicação do método de *site adaptation* de regressão linear para dados medidos na estação solarimétrica do Laboratório Fotovoltaica/UFSC. Adicionalmente, foram aplicadas complementações deste método, dividindo os dados em dias de céu mais claro e mais nublado, e por faixas de irradiância.

Foi observado que o método de regressão linear apresenta erros relativos de 22,35% (rRMSE) e 1,61% (rMBE). Os passos complementares desta metodologia foram aplicados com o intuito de melhorar estes resultados. A metodologia 1 apresentou uma melhora de 0,1% no rRMSE e 0,14% no rMBE. Por fim, a metodologia 2 apresentou um resultado de rRMSE 0,88% pior e um rMBE 0,6% mais próximo à tendência ideal.



Ao comparar-se os métodos, a metodologia 2 apresentou rMBE, com menor valor absoluto, o que poderá indicar uma confiabilidade maior da correção dos dados de satélite para esta localidade utilizando estes métodos específicos. Porém, a metodologia 2 necessita do maior esforço computacional dentre os métodos avaliados.

De modo a averiguar o comportamento dos métodos avaliados e resultados obtidos, os autores planejam, em trabalhos futuros, reavaliar os métodos utilizado um período maior de dados medidos em solo (4 anos, 2018-2021). Adicionalmente, pretende-se aplicar a metodologia 1 para faixas de Kt, ou seja, ao invés de se realizar uma divisão entre dias de céu mais claro e mais nublados, o dataset será dividido em quatro faixas distintas: dias nublados ( $0 < Kt < A$ ), dias parcialmente nublados ( $A < Kt \leq B$ ), dias parcialmente claros ( $B < Kt \leq C$ ) e dias claros ( $Kt > C$ ). Com estas implementações espera-se encontrar melhores resultados para os dados avaliados.

### 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 ISI-ER no âmbito do programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Os autores agradecem também aos colegas do laboratório Fotovoltaica-UFSC que não participaram diretamente desta pesquisa, mas ajudaram na instalação e manutenção dos sensores utilizados no estudo, e também pelas discussões frutíferas sobre os temas abordados nesse artigo. Marília Braga e Amanda Mendes Ferreira Gomes agradecem ainda o apoio recebido da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) através de suas bolsas de doutorado e mestrado, respectivamente.

### REFERÊNCIAS

- Aguiar, R., Collares-Pereira, M., 1988. A simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of markov transition matrices. *Solar Energy*, vol.40, No.3, pp. 269-279.
- Aguiar, M. L., Polo, J., Vindel, J.M., Oliver, A. 2019. Analysis of satellite derived solar irradiance in islands with site adaptation techniques for improving the uncertainty. *Renewable Energy*, Vol. 135, pp. 98-107.
- Bright, J.M. 2019. Solcast: Validation of a satellite-derived solar irradiance dataset. *Solar Energy*, vol. 189, pp. 435-449.
- Ineichen, P., 2014. Long term satellite global, beam and diffuse irradiance validation. *Energy Procedia*, vol. 48, pp. 1586–1596.
- Long, C.N., Dutton, E.G. BSRN Global Network recommended QC tests, in: PANGAEA, Bremerhaven, 2010.
- Mantelli, S.L., Martins, G.L., Rüther, R. Uncertainty analysis of solar monitoring station: a case study, in: *Solar World Congress*, Santiago, Chile, 2019.
- Mermoud, A. PVsyst: Software for the Study and Simulation of Photovoltaic Systems. 1993-2021.
- Mieslinger T., Ament, F., Chhatbar, K., Meyer, R. 2014. A New Method for Fusion of Measured and Model-derived Solar Radiation Time-series. *Energy Procedia*, Vol. 48, pp. 1617–1626
- National Renewable Energy Laboratory - NREL, 2021. Best practices handbook for the collection and use of solar resource data for solar energy applications: Second edition.
- 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., 1997. Comparing satellite remote sensing and ground network measurements for the production of site/time specific irradiance data. *Solar Energy*, vol. 60, pp. 89–96.
- Polo, J., Martín, L., Vindel, J.M. 2015. Correcting satellite derived DNI with systematic a seasonal deviations: Application to India. *Renewable Energy*, Vol. 80, pp. 238-243.
- Polo, J., Wilbert, S., Ruiz-Arias, J.A., Meyer, R., Gueymard, C., Súrri, M., Martín, L., Mieslinger, T., Blanc, P., Grant, I., Boland, J., Ineichen, P., Remund, J., Escobar, R., Troccoli, A., Sengupta, M., Nielson, K. P., Renne, D., Geuder, N., Cebecauer, T. 2016. Preliminary survey on site-adaptation techniques for satellite-derived and reanalysis solar radiation datasets. *Solar Energy*, Vol. 132, pp. 25-37
- Polo, J., Fernández-Peruchena, C., Salamalikis, V., Mazorra-Aguiar, L., Turpin, M., Martín-Pomares, L., Kazantzidis, A., Blanc, P., Remund, J. 2020. Benchmarking on improvement and site-adaptation techniques for modeled solar radiation datasets. *Solar Energy*, Vol. 201, pp. 469-479.
- Ruiz-Arias, J.A., Pozo-Vázquez, D., Lara-Fanego, V., Santos-Alamillos, F.J., Tovar-Pescador, J., 2011. A high-resolution topographic correction method for clear-sky solar irradiance derived with a numerical weather prediction model. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 50 (12), pp. 2460–2472.

### SITE ADAPTATION: METHODS AND CASE STUDY FOR FLORIANÓPOLIS-SC

**Abstract.** For local analysis, solar resource is best evaluated by ground measured meteorological stations. However, when the distance to the nearest station is high, satellite-based data (historical data series) become the ideal solution, especially for regional and continental analysis. Although satellite-based methods have high levels of confidence, they can still show significant differences when compared to instantaneous values measured on the ground. In order to ensure the reliability of on-site PV generation results, satellite data correction methods known as site adaptation, using ground-measured data, have been implemented. The purpose of these methods is to minimize the error and improve the deviation

*between satellite-derived data and instantaneous ground measurements. The objective of this work is to present the application of the linear regression site adaptation method for data measured in the meteorological station of the Laboratory Fotovoltaica/UFSC. Additionally, complements of this method were applied by dividing the data into days with clear and cloudy skies and later by irradiance bands. It was observed that the linear regression method would present relative errors of 22.35% (rRMSE) and 1.61% (rMBE). The clear-sky division methodology showed an improvement of 0.1% in the rRMSE and 0.14% in the rMBE. Finally, the methodology of division by irradiance bands presented a result of rRMSE 0.88% worse and an rMBE 0.6% closer to the ideal trend.*

**Key words:** *Site adaptation, solar irradiance, satellite data.*