

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PROBABILÍSTICOS PARA PREENCHIMENTO DE LACUNAS DE DADOS SOLARIMÉTRICOS E PREVISÃO DA IRRADIÂNCIA SOLAR DE CURTO PRAZO

Andriele Bratti Machado – andriele_bratti_@hotmail.com

Giuliano Arns Rampinelli – giuliano.rampinelli@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Energia e Sustentabilidade

Resumo. A crescente demanda por energia elétrica, combinada com o modelo de desenvolvimento sustentável e a preocupação mundial com uma matriz energética limpa e diversificada impulsionou o avanço das fontes de energias renováveis. Neste contexto, a energia solar fotovoltaica é uma alternativa competitiva. Para que essa seja implementada, é imprescindível a caracterização adequada do recurso solar existente e, portanto, a qualidade dos dados solarimétricos coletados deve ser garantida. Além disso, a energia elétrica gerada pelos sistemas fotovoltaicos é diretamente proporcional à radiação solar local. Em decorrência disso, a estimativa da irradiância incidente sobre o sistema é de suma importância, visto que, a partir dessa é possível quantizar a energia elétrica gerada para um sucinto intervalo de tempo. Este artigo apresenta uma análise de métodos probabilísticos para o preenchimento de lacunas em dados solares e previsão da irradiação solar de curto prazo. Os dados de radiação solar foram medidos a partir da estação meteorológica instalada em uma planta piloto bioclimática da Universidade Federal de Santa Catarina, localizada na cidade de Araranguá - SC. Os métodos probabilísticos testados são simples, têm bons resultados e podem ser aplicados quando a precisão e exatidão não são necessárias.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Previsão de Curto Prazo da Radiação Solar, Preenchimento de Lacunas

1. INTRODUÇÃO

A presente preocupação com a diversificação da matriz energética mundial e o aumento da demanda por energia elétrica levaram a inserção de novas tecnologias para aproveitamento dos recursos naturais, como o vento e o sol. Tanto a energia eólica quanto a energia solar fotovoltaica já possuem competitividade econômica no mercado elétrico. Dessa forma, observa-se a necessidade do constante aperfeiçoamento da coleta de dados, visando caracterizar o recurso existente nos diferentes locais e permitir a confiabilidade da geração de energia elétrica através desses recursos. (Martins *et al.*, 2007).

O uso de equipamentos eletrônicos em estações meteorológicas, apesar de automatizarem e simplificarem a coleta de dados, acarretam na maior probabilidade de erros e falhas. Conforme (Lima e Nunes, 2012) uma das principais dificuldades dos institutos de meteorologia e previsão do tempo é a qualidade dos dados coletados, visto que, devido a problemas nos equipamentos toda a leitura fica comprometida. Assim, necessita-se da contínua supervisão e gerenciamento do desempenho correto dos equipamentos, bem como, o processamento dos dados, objetivando o preenchimento de lacunas e a exclusão de valores discrepantes. (Fernandes, 2016).

A energia emitida pelo Sol em forma de radiação é uma das principais fontes de energia da Terra e pode ser aproveitada em inúmeras aplicações, destacando-se a produção de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos e a energia térmica através de sistemas de aquecimento solar de água. A viabilidade dessas aplicações, em especial da tecnologia solar fotovoltaica, depende, entre outros fatores, do recurso solar existente, portanto, é indispensável a caracterização adequada da radiação solar, assim como, do seu comportamento diário. (Silva, 2014).

É neste contexto que a previsão de irradiância incidente se torna importante para o aproveitamento da energia solar, dado que, a partir desta é possível estimar quanto de energia elétrica será produzida e, ainda, no caso de sistemas conectados à rede, quanto será injetado ou consumido da mesma. De acordo com Guarnieri *et al.* (2007), essas informações também podem contribuir de forma significativa para o gerenciamento da transmissão e distribuição de energia na rede elétrica, uma vez que, a radiação solar aquece os cabos, originando perdas de energia.

Segundo Oliveira (2017) e Guarnieri *et al.* (2007), a irradiância apresenta particularidades, como a descontinuidade e a natureza estocástica, por conseguinte, seus dados apresentam variabilidade elevada. As incertezas na previsão da irradiância solar são grandes, devido a dependência de parâmetros meteorológicos, como as nuvens, e a imprecisão dos métodos utilizados na medição e previsibilidade.

A estimativa da energia radiante incidente na superfície terrestre, assim como, o aproveitamento energético eficiente da radiação solar, carecem de dados confiáveis. Para tanto, é fundamental o estudo sobre métodos eficazes, de baixo custo e fácil manipulação para preenchimento de lacunas oriundas de falhas de equipamentos solarimétricos, bem como, para a estimativa de curto prazo da irradiância incidente à superfície. Segundo Diaz (2014) e Rihbane (2014), atualmente há uma série de métodos matemáticos e computacionais que podem ser empregados para estes fins, dentre eles pode-se citar

os modelos de regressão não-linear, método Monte Carlo, método de ponderação regional, método de replicação, redes neurais artificiais, entre outros.

O presente trabalho tem como objetivo estimar a precisão de métodos probabilísticos no preenchimento de lacunas e na previsão da irradiância solar de curto prazo. Para tal, foram empregados os métodos de replicação e persistência no preenchimento de lacunas, enquanto para a previsibilidade da irradiância solar aplicou-se o método de persistência em um período de integração de um dia. Nos dois casos, os dados utilizados foram obtidos a partir da estação meteorológica automática de superfície instalada no Laboratório de Pesquisa Aplicada (LPA) da Universidade Federal de Santa Catarina, na cidade de Araranguá – SC, durante um ano, de forma contínua com periodicidade de cinco minutos.

2. RADIAÇÃO SOLAR

O Brasil é um dos países com melhor potencial solar anual, uma vez que sua localização geográfica se encontra em maior parte na região intertropical (Lima, 2015). O aproveitamento do recurso solar pode ter diferentes finalidades, como o aquecimento de água, do ar e, em especial, a geração de energia elétrica. Recentemente, Pereira *et al.* (2017) propuseram que o aproveitamento do recurso solar no Brasil é uma excelente opção para complementação de fontes convencionais de energia já consolidadas como as hidroelétricas, pois além de favorecer o controle hídrico nos reservatórios, em especial nos períodos de escassez de chuvas, também possibilita o planejamento e a otimização de novos investimentos em geração, transmissão e distribuição da energia.

Conforme Pinho e Galdino (2014) a radiação solar incidente à superfície terrestre pode ser dividida em três componentes: a direta, a difusa e de albedo. A parcela da radiação solar que incide diretamente em uma superfície é chamada de componente direta, já aquela que incide em uma superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre recebe o nome de difusa. A componente denominada de albedo refere-se à radiação solar refletida pelo entorno, como o solo ou vegetação. Ainda, costumeiramente descreve-se a radiação solar em termos de fluxo de energia ou fluxo de potência, recebendo os nomes de irradiação e irradiância, respectivamente.

A Fig. 1 apresenta os mapas solarimétricos brasileiros, nesses são apresentadas as médias diárias anuais da irradiação global horizontal e da irradiação direta normal. A partir desta figura, é possível averiguar que em praticamente todo o país os índices de irradiação são bem significativos, variando de 3500 a 6250 Wh/m².dia para a componente horizontal da irradiação global e de 1250 a 6750 Wh/m².dia para a componente direta normal da irradiação global. Apesar de na região sul do Brasil os valores de irradiação solar serem inferiores aos do nordeste, a viabilidade de sistemas fotovoltaicos ainda se faz presente, visto que em países como a Alemanha o recurso solar é menos expressivo, entretanto, uma notável parcela da demanda elétrica desse país é atendida por energia solar fotovoltaica. (Suzuki e Resende, 2013).

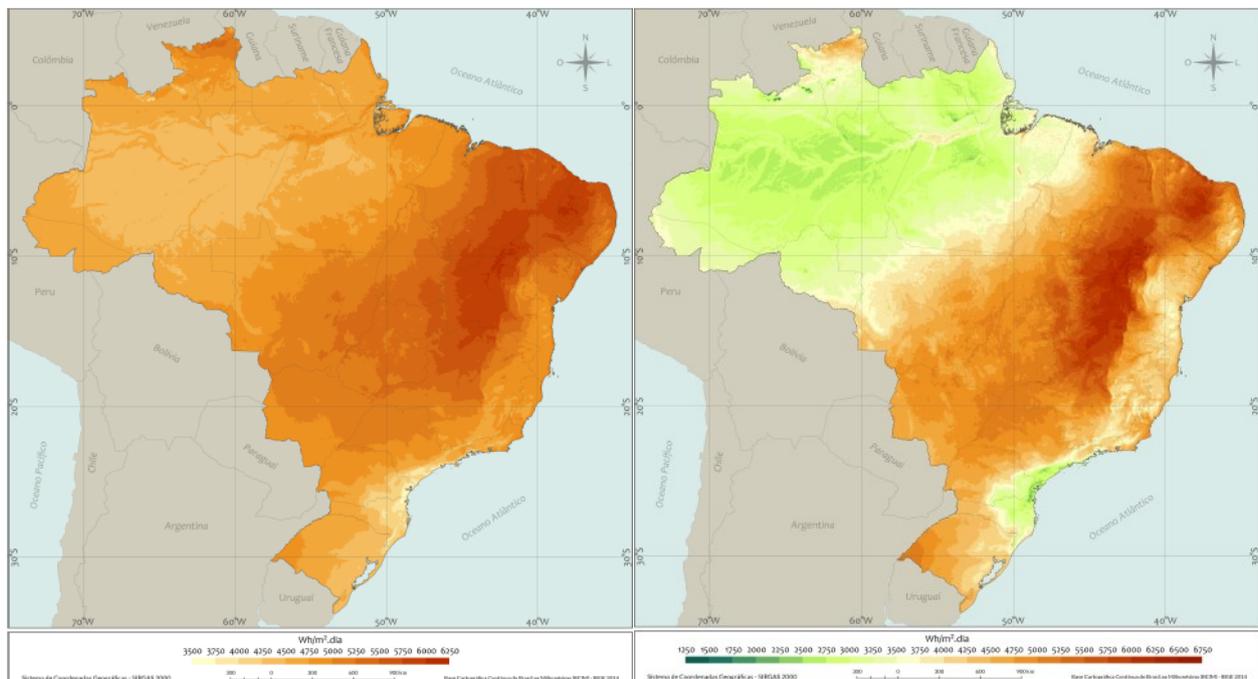


Figura 1 – Média diária anual da irradiação global horizontal e da irradiação direta normal. (Pereira *et al.*, 2017)

Devido sua extensão territorial, existem certas regiões do Brasil que não são atendidas pelo Sistema Interligado Nacional (SIN) e por nenhuma outra rede de transmissão, privando múltiplas famílias do uso de energia elétrica. Uma

solução para tal situação seria a implementação de sistemas fotovoltaicos autônomos com armazenamento de energia através de banco de baterias. Ainda, outra aplicação bem recorrente para aproveitamento do recurso solar é a utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, seja para geração distribuída ou centralizada.

A variabilidade diária da radiação solar implica na variação da geração de energia elétrica através dessa fonte. De acordo com Rampinelli *et al.* (2016), conhecer o recurso solar disponível localmente é primordial para prever a energia elétrica gerada e assim, permitir a confiabilidade do sistema. Não obstante, modelos apropriados para realizar a estimativa de curto prazo da radiação solar podem auxiliar no planejamento e operação de uma usina fotovoltaica. (Oliveira, 2017).

Por estes motivos, a previsão da irradiância solar incidente é de suma importância para o planejamento energético brasileiro. Visto que, a mesma fornece uma base sólida para a realização de projetos de sistemas fotovoltaicos e de aproveitamento da energia solar por diferentes tecnologias, reduzindo os riscos econômicos e estratégicos para os investidores ou o próprio governo. (Neto *et al.*, 2009; Couto *et al.*, 2016).

A avaliação do recurso solar é o alicerce para tomadas de decisões no desenvolvimento de projetos de sistemas fotovoltaicos e, portanto, a aquisição de dados confiáveis é primordial. Para que a caracterização do recurso solar seja adequada, faz-se necessário o processamento correto das informações reunidas, afim de obter estimativas precisas de índices energéticos e econômicos, essenciais no plano de negócios de viabilidade de projetos de energia solar. (Rampinelli *et al.*, 2016).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As lacunas são ausências ou discrepâncias de dados em uma determinada série contínua e são causadas por erros nos equipamentos de medição provocados por fatores externos ou desligamento da energia elétrica. Segundo Rihbane (2014), o preenchimento adequado dessas falhas torna os dados confiáveis, possibilitando o processamento e o uso dos mesmos em estudos e estimativas, como, por exemplo, na previsibilidade da irradiância solar.

Métodos probabilísticos são utilizados em larga escala no preenchimento de lacunas por serem fáceis de implementar, de baixo custo e originarem resultados aceitáveis. Visto a notória relevância de prever a radiação solar, assim como a complexidade da mesma, encontrar métodos profícuos e simples para esta aplicação exige a análise de distintos métodos. Desta maneira, conseguir empregar esses métodos, como o de persistência, na previsibilidade da irradiância solar e obter resultados adequados se faz necessário.

O método de replicação consiste em alegar que o instante o qual se quer preencher é idêntico ao mesmo instante do dia anterior. Em contrapartida, o método da persistência equivale a uma média aritmética simples do instante anterior e o posterior àquele que se deseja estimar para um dado intervalo de tempo. As premissas dos métodos são fundamentadas no comportamento probabilístico da radiação solar.

Para o preenchimento de lacunas com periodicidade de cinco minutos e uma hora foram empregados os métodos de replicação e persistência. Já para lacunas de duas horas, um dia e para previsão da irradiância solar no período de integração de um dia foi utilizado somente o método da persistência, visto que o de replicação mostrou-se ineficaz.

Para a previsibilidade da irradiância solar horária ao longo de um dia foram testados três procedimentos diferentes: o primeiro consiste em afirmar que a irradiância em um dado horário do dia posterior é equivalente a irradiância no mesmo dado horário do dia anterior, o segundo procedimento diz que o dia seguinte é análogo a média dos dois dias anteriores, sempre na mesma base horária, enquanto que no terceiro procedimento a previsão da irradiância solar é idêntica à média aritmética simples dos três dias anteriores, também na mesma base horária.

Os dados de radiação solar utilizados no presente trabalho foram extraídos da estação meteorológica automática de superfície instalada no Laboratório de Pesquisa Aplicada da UFSC, Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde, situado na cidade de Araranguá – SC. O período analisado está compreendido entre janeiro e dezembro de 2017, totalizando um ano de dados de radiação solar. Os intervalos de medição e integração dos dados de radiação solar são de cinco minutos e a base fornecida é em W/m^2 .

3.1 Estação Meteorológica

Um das linhas de pesquisa desenvolvidas pelo LPA é a caracterização do recurso solar, bem como, a avaliação do potencial energético do mesmo e o desenvolvimento de métodos de previsibilidade de curto prazo da radiação solar. As principais informações para a concretização dessas pesquisas, os dados, em sua maioria são obtidos a partir de uma estação meteorológica própria, anexada a planta piloto bioclimática.

A instrumentação utilizada é composta por uma estação meteorológica automática de superfície, piranômetros térmicos e células de referência para medição da radiação solar. Além disso, a estação meteorológica, Fig. 2, apresenta sensores para medição da radiação solar global horizontal, velocidade e direção de vento, pressão atmosférica, umidade relativa, temperatura ambiente, precipitação, entre outros. Os sistemas possuem acompanhamento automático e todas as medições provenientes dos sensores são memorizadas em um datalogger para posterior armazenamento em um banco de dados. (Rampinelli *et al.*, 2016).



Figura 2 - Estação meteorológica da UFSC, Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A comparação entre os resultados obtidos para o preenchimento de lacunas foi disposta através de tabelas, nas quais encontram-se os períodos analisados, os métodos utilizados, os parâmetros de avaliação e a duração das lacunas. O desempenho dos métodos foi analisado por meio do coeficiente de correlação (R^2) que permite inferir a correlação entre o dado estimado e o dado real. Afim de mensurar a dispersão dos dados utilizou-se o desvio padrão médio (σ), que em termos gerais, indica a dispersão probabilística dos dados estimados em relação aos valores medidos. Uma distribuição probabilística normal apresenta 68 % das inferências ou estimativas em um intervalo compreendido entre a média e um desvio padrão enquanto que o intervalo compreendido entre a média e dois desvios padrão apresentam 95 % das inferências ou estimativas.

A Tab. 1 resume os resultados mensais comparativos para preenchimento de lacunas de cinco minutos e uma hora obtidos através dos métodos testados. Na Tab. 1, é possível averiguar que o método de persistência é muito mais eficaz do que o método de replicação. Por exemplo, para o mês de maio, nas falhas de cinco minutos, o coeficiente de correlação para o método de replicação (método 1) foi de 0,34, enquanto para o método de persistência (método 2) foi de 0,96 e, quanto mais próximo este valor estiver de um, melhor é a estimativa. Isso ocorre porque o método 2 corresponde a uma média aritmética simples entre o dado medido cinco minutos antes a falha e o dado medido cinco minutos após a mesma, em contrapartida, o método 1 preenche a lacuna com o dado do mesmo horário do dia anterior.

Tabela 1 – Resultados mensais dos parâmetros de análise dos métodos probabilísticos de replicação e persistência no preenchimento de lacunas de cinco minutos e uma hora.

Mês	Método	5 minutos		1 hora	
		σ (W/m ²)	R^2	σ (W/m ²)	R^2
Janeiro	Replicação	192,20	0,57	193,61	0,57
	Persistência	74,26	0,94	107,69	0,85
Fevereiro	Replicação	191,72	0,58	189,03	0,59
	Persistência	62,10	0,96	98,06	0,88
Março	Replicação	178,85	0,51	177,02	0,51
	Persistência	59,47	0,95	91,69	0,85
Abril	Replicação	142,59	0,48	136,75	0,51
	Persistência	39,79	0,96	77,14	0,82
Maio	Replicação	102,82	0,34	95,85	0,38
	Persistência	25,27	0,96	38,65	0,87
Junho	Replicação	82,67	0,73	82,77	0,73
	Persistência	7,52	0,99	33,22	0,95
Julho	Replicação	71,23	0,85	70,59	0,85
	Persistência	17,56	0,99	32,46	0,97
Agosto	Replicação	104,37	0,73	117,04	0,57
	Persistência	34,13	0,97	50,57	0,88

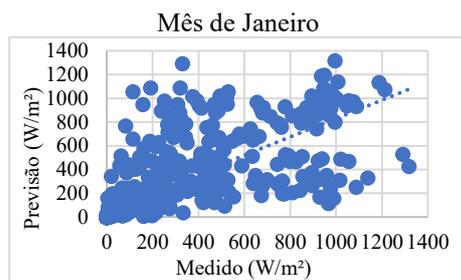
Setembro	Replicação	135,88	0,42	141,67	0,39
	Persistência	25,81	0,98	61,38	0,89
Outubro	Replicação	178,20	0,51	180,17	0,48
	Persistência	31,48	0,99	69,16	0,92
Novembro	Replicação	218,79	0,49	220,35	0,49
	Persistência	63,00	0,96	101,32	0,88
Dezembro	Replicação	190,13	0,59	185,25	0,56
	Persistência	74,40	0,94	109,15	0,86

A Tab. 2 sintetiza os valores decorrentes apenas do método de persistência para lacunas de duas horas e um dia, uma vez visto que o método de replicação se mostrou muito inferior já em lacunas de períodos menores, como de uma hora. Observa-se que este método é bem eficaz no preenchimento de lacunas, uma vez que os parâmetros de comparação dos valores estimados com os valores reais medidos apresentam resultados satisfatórios. Tendo como exemplo o mês de julho para lacunas de cinco minutos, o valor de 17,56 W/m² para o desvio padrão médio e de 0,99 para o coeficiente de correlação demonstram que as estimativas foram precisas, visto a pequena dispersão dessas em relação aos dados reais.

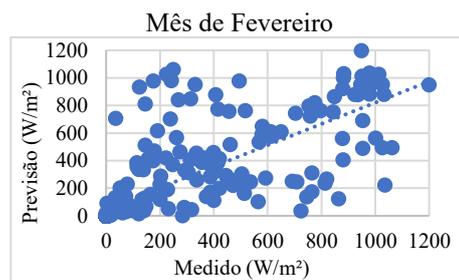
Tabela 2 - Resultados mensais dos parâmetros de análise do método probabilístico de persistência no preenchimento de lacunas de duas horas e um dia.

Mês	Método	2 horas		1 dia	
		σ (W/m ²)	R ²	σ (W/m ²)	R ²
Janeiro	Persistência	135,66	0,72	164,75	0,64
Fevereiro	Persistência	119,56	0,77	156,85	0,68
Março	Persistência	106,64	0,75	154,56	0,58
Abril	Persistência	84,72	0,76	110,91	0,63
Mai	Persistência	51,22	0,75	84,47	0,46
Junho	Persistência	54,36	0,84	60,15	0,84
Julho	Persistência	57,95	0,88	65,22	0,87
Agosto	Persistência	73,61	0,78	104,47	0,63
Setembro	Persistência	62,46	0,86	111,76	0,47
Outubro	Persistência	87,72	0,85	161,31	0,54
Novembro	Persistência	122,79	0,79	182,97	0,59
Dezembro	Persistência	127,53	0,76	167,21	0,65

No âmbito da previsão da irradiância solar foram utilizados os mesmos parâmetros de análise, σ e R², e os resultados são apresentados por meio de diagramas de dispersão e tabelas. Na Fig. 3 são apresentados os gráficos de dispersão para os meses de janeiro a dezembro de 2017 contendo as previsões para um dia e os dados reais medidos, os valores do desvio padrão médio (σ) e o do coeficiente de correlação (R²). Neste caso a previsão da irradiância solar foi obtida a partir do dia anterior, isto é, o método consiste em afirmar que o dia posterior é idêntico ao dia anterior na mesma base horária. A simplicidade de implementação do método é a principal vantagem do mesmo. Os resultados obtidos são satisfatórios, mas não são precisos, portanto, a aplicabilidade do método depende da precisão exigida na estimativa da radiação solar pelo projeto de sistema fotovoltaico em questão.



$$R^2 = 0,57 \text{ W/m}^2; \sigma = 193,60 \text{ W/m}^2$$



$$R^2 = 0,59 \text{ W/m}^2; \sigma = 189,03 \text{ W/m}^2$$

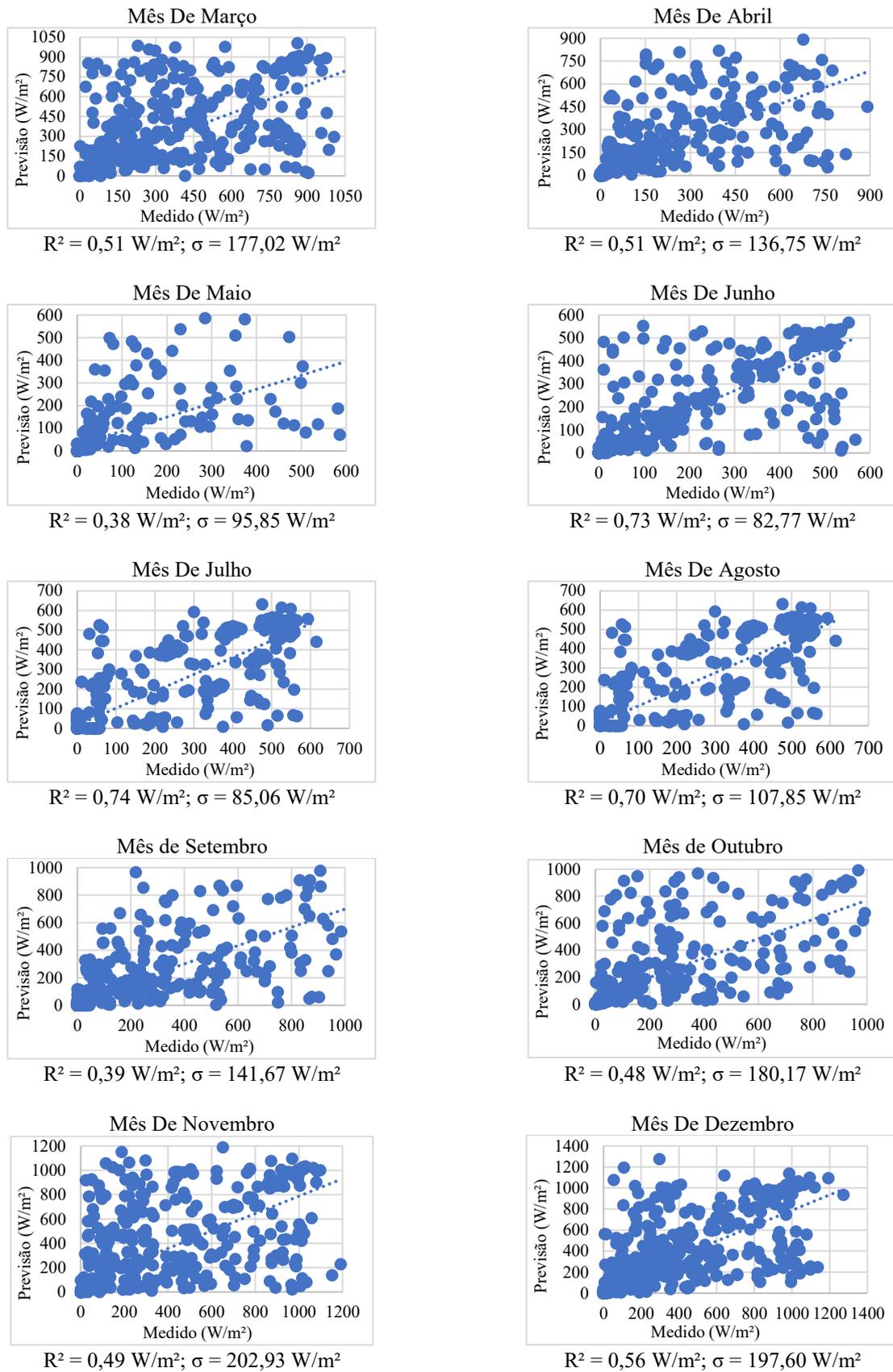


Figura 3 - Diagramas de dispersão para a previsão da irradiância solar de um dia utilizando como referência o dia anterior, num período de integração de janeiro a dezembro de 2017.

A Tab. 3 representa as previsões para um dia utilizando o método de persistência. A citação “ForSol dois dias” refere-se a previsão utilizando a média aritmética simples de dois dias anteriores, no passo que a citação “ForSol três dias” diz respeito a estimativa da irradiância solar empregando a média de três dias anteriores. Nota-se que, com o acréscimo de dias inseridos nas médias o método vai se tornando mais preciso, por consequência, a previsão da irradiância solar é mais exata.

Tabela 3 – Resultados mensais para a previsão da irradiância solar de um dia utilizando como referência a média de dois e três dias anteriores, num período de integração de janeiro de 2017 a dezembro de 2017.

Mês	Método	ForSol 2 dias		ForSol 3 dias	
		σ (W/m ²)	R ²	σ (W/m ²)	R ²
Janeiro	Persistência	171,06	0,62	155,56	0,67
Fevereiro	Persistência	159,77	0,68	148,14	0,72
Março	Persistência	140,02	0,64	139,99	0,63
Abril	Persistência	130,70	0,52	128,29	0,52
Mai	Persistência	75,38	0,54	74,77	0,53
Junho	Persistência	75,49	0,76	71,26	0,78
Julho	Persistência	58,45	0,90	55,95	0,90
Agosto	Persistência	92,54	0,76	89,89	0,78
Setembro	Persistência	137,90	0,31	129,58	0,30
Outubro	Persistência	150,55	0,60	152,03	0,59
Novembro	Persistência	157,18	0,57	189,05	0,54
Dezembro	Persistência	190,20	0,55	185,78	0,56

Ao comparar a Tab. 3 e os gráficos de dispersão, pode-se afirmar que o método de persistência é eficiente na previsão da irradiância solar e, conforme aumenta-se o uso de dados anteriores, mais preciso ele se torna. Por conseguinte, quanto maior for a disponibilidade de séries históricas de dados sobre radiação solar, mais fácil será de prever o comportamento diário da mesma. Todavia, conforme Beruski *et al.* (2014), a quantidade de estações meteorológicas que registram a irradiância diária é muito menor do que de estações que monitoram a temperatura e a precipitação, desta maneira, é relativamente difícil encontrar conjuntos de dados de radiação solar de períodos longos que possam auxiliar na previsibilidade desta variável.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma análise de métodos probabilísticos, denominados de método de persistência e método de replicação, para preenchimento de lacunas em dados solarimétricos e para previsão da radiação solar de curto prazo. A partir do emprego de métodos probabilísticos em um conjunto de dados de radiação solar, foi possível observar que o método de persistência resulta em valores aceitáveis para estimativas oriundas do preenchimento de lacunas e também fornece previsões de irradiância com certo grau de confiabilidade. Verificou-se que o método de persistência originou desvios padrão médios muito menores do que o método de replicação para o preenchimento de lacunas, assim como, coeficientes de correlação superiores. Ainda, notou-se que o método em questão se torna constante ao passo que o conjunto de dados utilizados aumenta, isto é, ao utilizar um dia como referência para previsão da irradiância, a dispersão das estimativas em relação aos dados reais medidos foi maior do que quando utilizado três dias de referência.

Por consequência, foi possível constatar que o método de persistência além de ser de fácil entendimento e manuseio, é eficaz tanto no preenchimento de lacunas como na previsibilidade da irradiância solar. Visto que, o maior valor de desvio padrão médio foi de 220,35 W/m² para o preenchimento de lacunas e de 202,93 W/m² para a previsão da irradiância solar e o menor valor do coeficiente de correlação foi de 0,34 e de 0,30 para o preenchimento de lacunas e para a previsão da irradiância, respectivamente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a todos que disponibilizaram informações para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Beruski, G. C., Pereira, A. B., Sentelhas, P. C., 2014. Desempenho de Diferentes Modelos de Estimativa da Radiação Solar Global em Ponta Grossa, PR, Revista Brasileira de Meteorologia, v. 30, n. 2, pp. 205-213.
- Couto, H. J. B., Oliveira, R. A. E., Braga, P. F. A., 2016. Previsão de Radiação Solar Incidente no Estado do Ceará - Brasil, Revista HOLOS, v. 7, n. 32, pp. 208-230.
- Diaz, M. B., 2014. Análise de Diferentes Métodos de Preenchimento de Falhas nos Fluxos de CO₂: Estimativas sobre o arroz irrigado, Dissertação de Mestrado, CCNE, UFMS, Santa Maria.
- Fernandes, D. H. S., 2016. Automação e Validação de Método de Controle de Qualidade de Dados de Estações Solarimétricas, Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, CT, UFRN, Natal.
- Guarnieri, R. A., *et al.*, 2007. Previsões de Radiação Solar Utilizando Modelo de Mesoescala: Refinamento com Redes Neurais, I CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.
- Lima, F. J. L. de, 2015. Previsão de Irradiação Solar no Nordeste do Brasil Empregando o Modelo WRF Ajustado por Redes Neurais Artificiais (RNAs), Tese de Doutorado, INPE, São José dos Campos.
- Lima, M. V., Nunes, A. B., 2012. Preenchimento de Falhas de Dados Mensais de Precipitação: Comparação Básica Pontual para Pelotas – RS, UFPel, Pelotas.
- Martins, F. R., *et al.*, 2007. Mapeamento dos Recursos de Energia Solar no Brasil Utilizando Modelo de Transferência Radiativa Brasil-Sr, I CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.
- Neto, O. L. de M., Costa, A. A., Ramalho, F. P., 2009. Estimativa de Radiação Solar via Modelagem Atmosférica de Mesoescala Aplicada à Região Nordeste do Brasil, Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 3, pp. 339-345.
- Oliveira, J. de S., 2017. Desenvolvimento e Treinamento de Redes Neurais Artificiais para Processamento de Dados de Radiação Solar, Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, CTS, UFSC, Araranguá.
- Pereira, E. B. *et al.*, 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar, Inpe.
- Pinho, J. T., Galdino, M. A., 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Cepel.
- Rampinelli, G. A., Silva, M. P. D., Marcelino, R., 2016. Instalação e Monitoramento de uma Estação Meteorológica de Superfície Automática em uma Planta Piloto Bioclimática, Huancayo – Peru, XXIII SPES - XXIII Simpósio Peruano de Energía Solar y Del Ambiente, Huancayo.
- Rihbane, F. E. C., 2014. Preenchimento de Falhas Aleatórias de Séries Temporais Micrometeorológicas pela Técnica de Monte Carlo, Dissertação de Mestrado, IF, UFMT, Cuiabá.
- Silva, H. A. F. S. e., 2014. Planeamento de Curto Prazo de Sistemas de Energia Solar Usando Técnicas de Otimização Robusta, Dissertação de Mestrado, ADEEEA, ISEL, Lisboa.
- Suzuki, E. V., Rezende, F. D., 2013. Estudo da Utilização da Geração Fotovoltaica para Auxiliar a Suprir a Demanda Crescente de Energia Elétrica no Brasil, Monografia de Especialização, UTFPR, Paraná.

EVALUATION OF PROBABILISTIC METHODS FOR FILLING GAPS IN SOLAR DATA AND SHORT-TERM IRRADIANCE FORECASTING

Abstract. *The growing demand for electricity, the sustainable development and a global concern with a clean and diversified energy matrix are the motivation for the use of renewable energy sources. In this context, photovoltaic solar energy is a competitive alternative. In addition, the electricity generated by photovoltaic systems is directly proportional to solar radiation. Therefore, the estimate of the solar irradiance is fundamental. This paper presents an analysis of probabilistic methods for filling gaps in solar data and short-term irradiance forecasting. The solar radiation data were measured from the weather station installed in a bioclimatic pilot plant at the Federal University of Santa Catarina, located in the city of Araranguá - SC. The probabilistic methods tested are simple, have good results and can be applied when precision and accuracy are not required.*

Key words: *Photovoltaic Solar Energy, Short-term Solar Radiation Forecast, Methods for Filling Gaps.*