

# PROCEDIMENTO PARA QUALIDADE DE DADOS SOLARIMÉTRICOS EM ESTAÇÕES PADRÃO EPE COM MEDIÇÃO DE ALBEDO

**Lorena Santos da Silva** – lorena.silva.153@ufrn.edu.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas

**Samira de Azevedo Santos Emiliavaca**

**Alan Rodrigues de Sousa**

Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis - ISI-ER

**Vitória Régia Silva de Souza**

**João Vitor de Oliveira**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas

**Bruno do Nascimento e Silva**

**André Luiz de Oliveira Lira**

Instituto Senai de Inovação em Energias Renováveis - ISI-ER

**Paula Andressa Alves de Araujo**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas

**Resumo.** Tendo o Brasil um potencial fotovoltaico altíssimo, faz-se necessário explorar cada vez mais essa possibilidade de produção de energia renovável, a fim de garantir uma transição energética eficiente. Para tanto, é necessário explorar todas as possibilidades inerentes a essa fonte e, uma dessas possibilidades, é a utilização de módulos fotovoltaicos bifaciais que utilizam a radiação refletida do solo para incrementar a geração de energia. Porém, umas das dificuldades em operacionalizar esse tipo de geração é a aquisição e gerenciamento das estações meteorológicas que devem por obrigatoriedade seguir a resolução normativa EPE-DEE-RE-065/2013-R8, assim como os dados gerados por elas. Visando propor uma metodologia eficiente e prática em garantir a qualidade dos dados provenientes de uma estação solarimétrica padrão EPE, são sugeridos e aplicados a uma estação instalada em Sousa/PB, uma sequência de catorze testes subdivididos em quatro grandes áreas, sendo elas: globais, físicos, comparativos e de refinamento, todos fundamentados estatística e fisicamente, que ao serem implementados a uma série de dados meteorológicos são capazes de apontar a ausência, repetição ou inconsistência dos dados obtidos.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Teste de qualidade, Testes radiométricos.

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre as opções de fontes energéticas renováveis, a energia solar tem se destacado das demais, principalmente, pela quantidade de energia disponível na superfície terrestre, que supera a demanda de energia global (Bezerra, 2006). Sendo o Brasil um país que dispõe de um potencial anual de geração de energia fotovoltaica, variando de 1100 a 1800 kWh/kWp.ano, (Pereira *et al.*, 2017), todo o território brasileiro possui um alto potencial de geração de energia fotovoltaica, promovendo, cada vez mais, investimentos do país nessa fonte energética.

Em busca de uma maior eficiência na geração de energia solar fotovoltaica os novos empreendimentos estão empregando uma tecnologia recentemente disponível em larga escala, os módulos fotovoltaicos bifaciais. Um estudo realizado pelo International Technology Roadmap for Photovoltaic 2020 (VDMA, 2021) estima que até 2031 a participação de mercado dos módulos fotovoltaicos bifaciais representará aproximadamente 80% dos módulos vendidos em comparação com os 20% observados em 2019. Também se pode observar a mesma tendência de crescimento na utilização dos módulos bifaciais no Brasil, onde segundo o Estudo Estratégico Grandes Usinas Solares 2021 (Greener, 2021), até 2020, todos os contratos mapeados irão utilizar módulos fotovoltaicos bifaciais (Silva *et al.*, 2022).

Tendo em vista esse crescimento, o uso de estações solarimétrica dotadas de albedômetros é uma realidade nos projetos e empreendimentos que visam a construção e operação de sistemas fotovoltaicos compostos por módulos bifaciais.

A sazonalidade e a intermitência do recurso solar de uma região precisam ser conhecidas de modo confiável a fim de minimizar as incertezas e riscos nos investimentos realizados em empreendimentos fotovoltaicos, principalmente os de grande porte. Esse conhecimento só é alcançado a partir da instalação e operação de estações para aquisição de dados de irradiação solar. Contudo, além da qualidade dos instrumentos da estação, a instalação correta dos equipamentos utilizados nas estações e uma manutenção frequente desses equipamentos, é fundamental manter um controle de qualidade dos dados observados com o intuito de garantir a representatividade dos dados em relação às condições meteorológicas locais e possibilitar a análise de comparação com diferentes bases de dados para a mesma localidade (Tonello *et al.*, 2019).

Nesse sentido, esse trabalho propõe uma metodologia eficaz e prática de controle de qualidade composto por procedimentos já consolidados na literatura. O procedimento apresentado leva em consideração as variáveis irradiância global horizontal, irradiância refletida pelo solo, velocidade do vento, precipitação, temperatura e umidade relativa do ar. Configuração padrão das estações solarimétrica recomendadas pela Empresa de Pesquisas Energéticas - EPE.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Dados e Área de estudo

Foram utilizados nesse estudo dados medidos por uma estação solarimétrica pertencente ao Instituto SENAI de Inovação em Energias Renováveis e instalada no Instituto Federal da Paraíba (IFPB), campus Sousa, situado no município de Sousa, no interior do estado da Paraíba, referente ao período de 1 de janeiro de 2022 até 31 de dezembro de 2022. A cidade de Sousa é considerada climaticamente quente com chuvas de inverno (As) conforme a classificação de Köppen (Francisco, 2015). Com base nas medições realizadas, a região possui média anual de temperatura de aproximadamente 27,15 °C, umidade relativa de aproximadamente 68,98% e ventos com velocidades médias de 1,54 m/s. A estação solarimétrica responsável pelas medições utilizadas está localizada nas coordenadas geográficas (-9,275°, -41.0380°) e altitude de 402 m em relação ao nível do mar, conforme é ilustrado na Fig. 1.

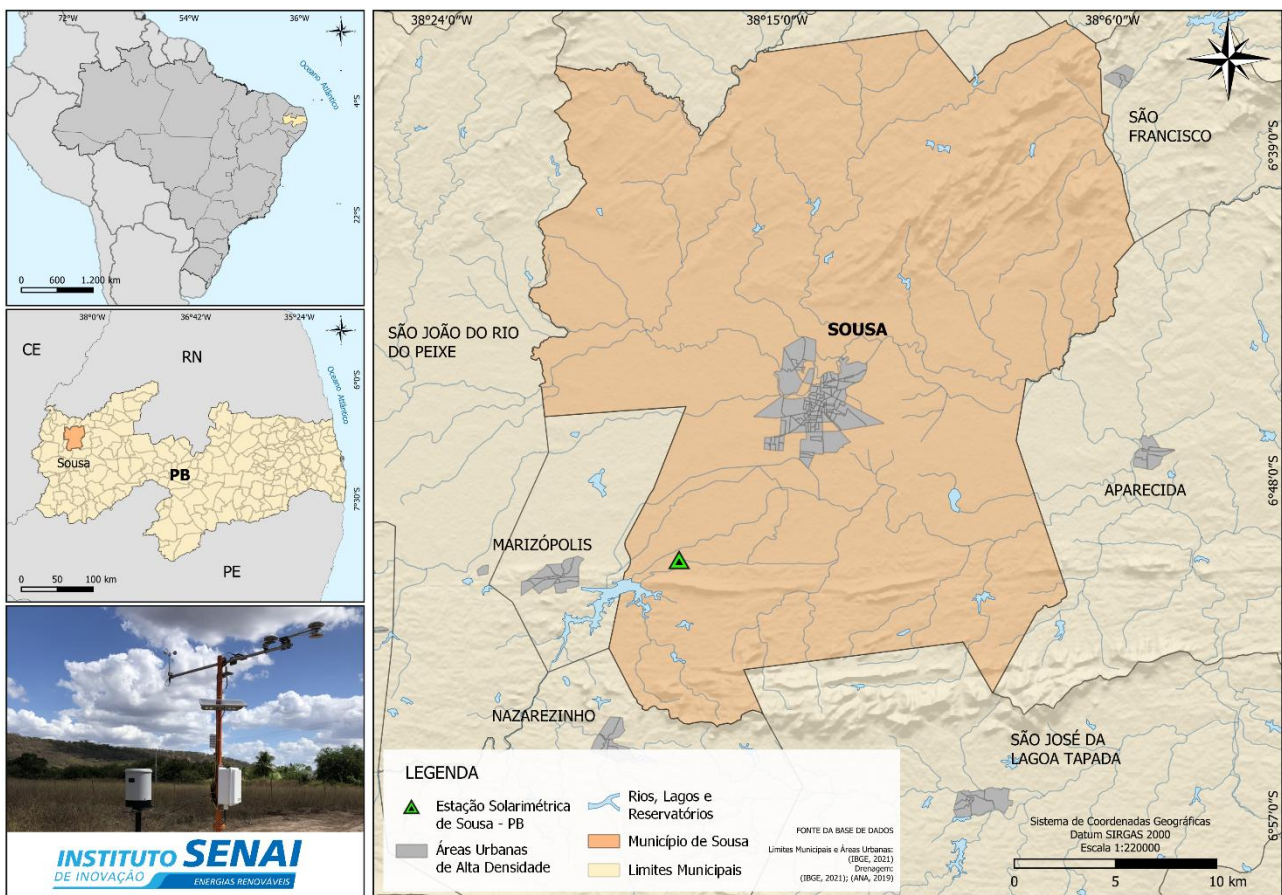


Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo.

A configuração da estação solarimétrica pode ser observada na Tab. 1, onde são sumarizados todos os sensores presentes nesta estação, especificando modelo, o fabricante e a variável de medição de cada sensor.

Tabela 1 – Identificação dos instrumentos que compõem a estação.

Instrumentos	Modelo	Fabricante	Variável Medida/Função	Sigla	Unidade
Datalogger	CR1000X	Campbell Scientific	Aquisição de dados	-	-
Modem	CELL 215	Campbell Scientific	Transmissão de dados	-	-
Painel Fotovoltaico	20M-V	Electrical Raiting	Geração de Energia	-	W
Antena Unidirecional	TRA6927M3PW-001	Laird	Amplificar Sinal 4G	-	-
Piranômetro	CMP 11	Kipp & Zonen	Irradiância Global Horizontal	$I_{g1}$	W/m <sup>2</sup>
Piranômetro	CMP 11	Kipp & Zonen	Irradiância Global Horizontal	$I_{g2}$	W/m <sup>2</sup>
Piranômetro	CMP 11	Kipp & Zonen	Irradiância Refletida pelo Solo	GRI	W/m <sup>2</sup>

Termohigrômetro	Hygro VUE10	Campbell Scitenfic	Temperatura do ar	Temp	°C
Anemômetro	Wind SPD Sensor	Met One Instruments	Umidade Relativa do ar	UR	%
Pluviômetro	TR4/0.01”	Hydrological Services	Velocidade do Vento	Vel	m/s
			Precipitação	Prec	mm

## 2.2 Metodologia

A utilização de indicadores (flags) nos procedimentos de garantia e de controle de qualidade (denominados genericamente de procedimentos de qualidade), é de extrema importância para caracterizar o nível de confiança de determinada amostra de uma série temporal (Petribu *et al.*, 2017). Usualmente os dados submetidos a procedimentos de qualidade não são corrigidos, e sim sinalizados com indicador correspondente ao seu nível de confiança. Essa prática é adotada para a garantia de qualidade em diversas redes de dados meteorológicos internacionais como o World Radiation Monitoring Center (WRMC), Oklahoma Mesonet (MESONET) e The Meteorological Resource Center (WEBMET) e nacionais como o Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais (SONDA) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Uma forma de obter uma melhor caracterização dos dados é a utilização de vários indicadores de qualidade, diferente da forma mais utilizada que é a classificação binária, onde o dado é classificado como bom ou suspeito. No Brasil, a rede SONDA, em seu processo de qualificação de dados, faz uso de 4 indicadores e disponibiliza o resultado da qualificação em um arquivo anexo aos dados brutos. A rede MESONET utiliza 8 indicadores e a rede WEBMET faz uso de 7 indicadores.

O procedimento de qualidade proposto para os dados a serem utilizados no processo de qualificação de dados é baseado em uma sequência de testes, em que as saídas de cada teste do procedimento correspondem a uma coluna em uma matriz de flags proposto inicialmente por Moraes (2015). Vale salientar que cada amostra (correspondente a um determinado timestamp da série temporal de interesse) diz respeito a uma linha da matriz de flags. Por fim, cada elemento da matriz de flags assume um dos 6 possíveis valores listados na Tab.2.

Tabela 2 – Descrição de indicadores de qualidade.

DESCRIÇÃO	INDICADOR
Dado bom	1
Dado suspeito	2
Dado anômalo	3
Dado previamente anômalo	4
Dado não testado	5
Dado não disponível	6

Quando um dado é aprovado em todos os testes do procedimento de qualidade, ele é classificado como “bom” (flag 1). Porém quando um dado não é aprovado em um teste, e esse teste não é essencialmente conclusivo, o dado recebe a classificação de “suspeito” (flag 2). Nesse caso, se ao final do processo, o dado suspeito não for classificado como anômalo em nenhum teste posterior, a ferramenta se utilizará (por default) de critérios pré-definidos para decidir sobre a classificação final do dado – e.g., modificar a classificação para “dado anômalo” baseado no percentual de flags de “suspeito” que o dado recebeu nos testes utilizados. Ainda assim, uma opção pode ser fornecida para que o usuário tenha autonomia para optar ou não pela utilização desse dado em seu projeto. Quando um dado for classificado como “anômalo” (flag 3) em determinado teste, ele não será avaliado em nenhum dos testes posteriores, e passa a ser classificado como dado “previamente anômalo” (flag 4) em todos os testes subsequentes. Um dado é considerado como “não testado” (flag 5) quando este não pode ser avaliado pelo teste de qualidade em questão. Um dado pode ser considerado não testado pela falta de dados complementares necessários para a realização do teste. Outro exemplo desse tipo de classificação diz respeito ao período noturno para os dados de radiação solar, nesse caso, são considerados dados não testados todos os dados de radiação solar que representam o período da noite. Finalmente, quando um dado de um determinado instante de tempo não foi registrado, este dado será classificado como “dado não disponível” (flag 6).

Para um melhor entendimento, a metodologia de garantia de qualidade foi detalhada em formato de fluxograma (Fig. 2), que detalha o conjunto de testes aplicados. O conjunto de testes estão subdivididos em quatro tipos: testes globais, testes físicos, testes de refinamento e testes comparativos. Associados, os testes compõem uma metodologia robusta de análise e validação da garantia dos dados.

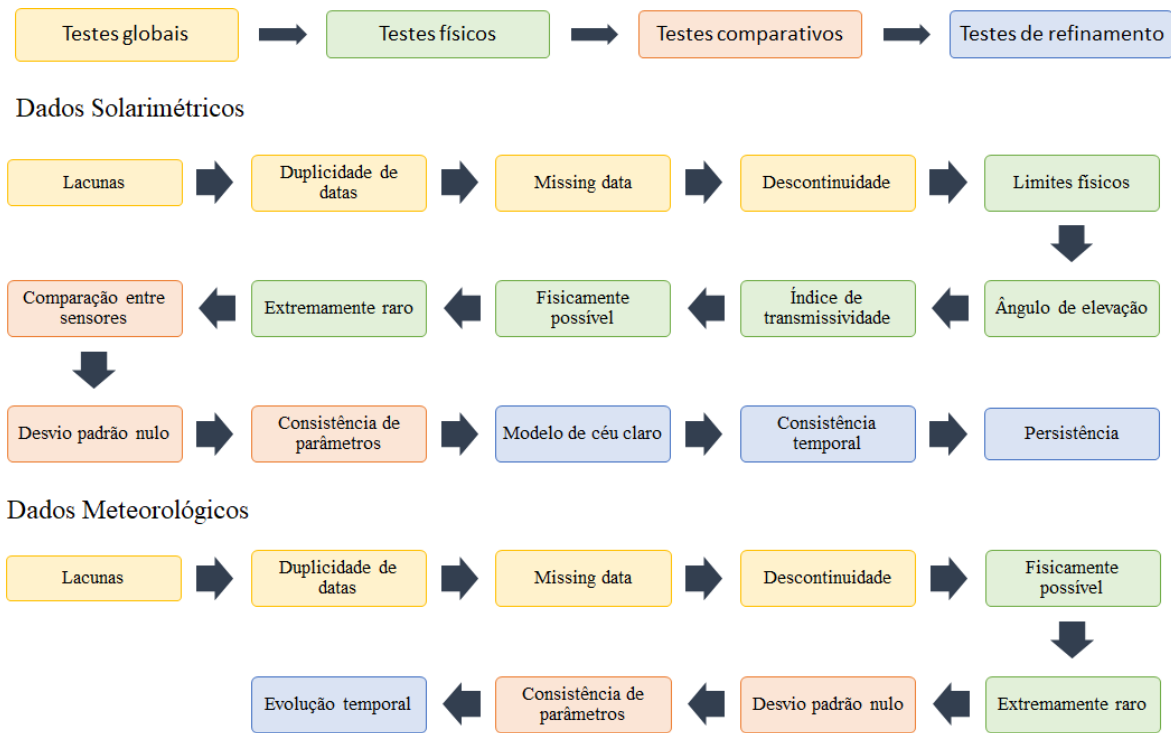


Figura 2 - Fluxograma de testes do procedimento de garantia de qualidade de dados observacionais solarimétricos e meteorológicos.

### 2.2.1 Testes Globais

Os testes globais são aplicados à série temporal inteira e tem como objetivo principal apontar inconsistências globais, tais como descontinuidades, dados ausentes, lacunas (Vejen *et al.*, 2002; Feng, 2004), falhas no registro de data e hora (Jiménez, *et al.*, 2010) e a partir dessa primeira análise tomar a decisão de seguir adiante com os testes locais ou descartar a utilização da série temporal antes mesmo da aplicação desses testes. Testes globais podem ser ainda realizados após todos os testes locais com o objetivo de avaliar a homogeneidade da série temporal já classificada pelos testes locais. Geralmente, avalia-se a homogeneidade com respeito ao valor médio e à variabilidade da série temporal (Peterson *et al.*, 1998a). Os principais testes globais a serem utilizados estão descritos a seguir.

#### *Teste de lacunas*

O teste de lacunas tem por objetivo a identificação de falhas na continuidade dos dados registrados, de modo a certificar que existem dados suficientes para que a série de dados analisada seja representativa (Bailey *et al.*, 1997). Uma lacuna temporal é definida quando duas amostras consecutivas possuem um intervalo de tempo maior que o intervalo de tempo configurado em seu sistema de aquisição de dados. Uma solução para este problema é o preenchimento das lacunas com NaNs (Not a Number), possibilitando assim, preservar a sequência temporal e evitar a concatenação direta entre dois dados não consecutivos – o que poderia modificar a estrutura de fase e frequência da série temporal.

#### *Duplicidade de datas*

As séries de medição registradas em datalogger são compostas pelos dados de cada instrumento de medição acompanhados do instante de tempo em que a medição de cada amostra ocorreu. Caso existam, na mesma série, dois instantes de tempo exatamente iguais, o procedimento habitual aplicado é o de desconsiderar as amostras referentes a estes dois instantes de tempo (Petribú *et al.*, 2017).

#### *Missing data*

Em campanhas anemométricas e solarimétricas, segundo a EPE, uma série de medição só poderá ser considerada válida para utilização caso possua uma quantidade de dados ausentes inferior a 10% (dez por cento) (EPE, 2021).

## Descontinuidade

No teste de descontinuidade, considera-se que uma série temporal com lacunas contínuas por um determinado número de dias não deve ser avaliada como um todo. A EPE determina que, nas campanhas de medição anemométricas, devem-se ter séries de, no mínimo, 12 meses e, caso uma série contenha uma lacuna contínua equivalente a um período de 15 dias, esta série não deve ser considerada por inteiro. Para não inutilizar a série, a mesma pode ser subdividida em séries temporais independentes (uma anterior e outra posterior à lacuna) (EPE, 2021).

### 2.2.2 Testes Locais

O conjunto de testes físicos, comparativos e de refinamento também são chamados na literatura de testes locais. Os testes locais são testes que visam a avaliação de amostras ou conjunto de amostras da série temporal, utilizando-se tanto de modelos estatísticos, que não dependem da natureza da variável (modelos não paramétricos), quanto de modelos físicos. Os testes locais avaliam a qualidade de dados individuais ou subconjuntos de dados na série temporal.

#### Limites físicos

Esse é o primeiro teste ao qual os dados solarimétricos são submetidos, e é um teste aplicado apenas à  $I_g$  e GRI, visando identificar medições impossíveis de serem registradas em condições atmosféricas normais. O teste condiciona que medições dentro do intervalo de -5 até 2000 W/m<sup>2</sup> possíveis fisicamente de acontecerem, enquanto aqueles fora desse intervalo são anômalos.

#### Ângulo de elevação

Também é um teste aplicado apenas aos dados de radiação solar cujo ângulo de elevação  $\alpha \leq 10^\circ$  deverão ser descartados por estarem sujeitos a uma faixa de incerteza dos sensores de medição (Maxwell *et al.* 1993).

#### Índice de transmissividade

Esse teste é aplicado aos dados de  $I_g$ , com o objetivo de eliminar primeiramente os outliers mais grosseiros, é inicialmente calculado o parâmetro adimensional normalizado com relação à radiação extraterrestre ( $k_t$ ) que é definido como:

$$k_t = \frac{I_g}{I_0 \times \cos \theta_z} \quad (1)$$

onde  $I_g$  é a irradiância global horizontal,  $I_0$  a irradiância extraterrestre e  $\theta_z$  o ângulo zenital.

Younes *et al.* (2005) adotam que  $0 < k_t < 1$ . Enquanto que Raichijk (2012), estabelece um intervalo maior para os valores de  $k_d$  ( $0 < k_t < 1,1$ ) devido à incerteza dos sensores utilizados. Verificamos, contudo, que principalmente na região Nordeste do Brasil o comportamento da radiação solar sugere um limite ainda mais abrangente e dessa forma, considerando-se as incertezas dos sensores de medição e as condições locais da região Nordeste do Brasil, sugere-se por escolher os limites de  $0 < k_t < 1,2$  como limites.

#### Fisicamente possível e Extremamente raro

Para os dados solarimétricos são adotados os critérios de controle de qualidade definidos pela BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*), já para as variáveis meteorológicas os critérios seguem as recomendações da WEBMET. Em ambos os casos, o teste chamado de Fisicamente Possível é destinado a identificar erros mais grosseiros e o teste Extremamente Raro é aplicado com filtros mais refinados (Long e Dutton, 2002). As Eq. (2) a Eq. (12) apresentam os limites aplicados às variáveis nesses testes. Desta maneira, os dados que desrespeitarem os limites das Eq. (2) a Eq. (7) são classificados como fisicamente impossíveis e os dados que desrespeitarem os limites das Eq.(8) a Eq. (12) são classificados como extremamente raros.

Limites do teste fisicamente possíveis:

$$-4 \leq I_g \leq I_0 \times 1,5 \times \cos(\theta_z)^{1,2} + 100 \quad (2)$$

$$-4 \leq GRI \leq I_0 \times 1,5 \times \cos(\theta_z)^{1,2} + 100 \quad (3)$$

$$\text{Mínimo absoluto local} \leq \text{Temp} \leq \text{Máximo absoluto local} \quad (4)$$

$$0 \leq UR \leq 100 \quad (5)$$

$$0 \leq Vel \leq 25 \quad (6)$$

$$0 < Prec < \text{Máximo absoluto local} \quad (7)$$

Limites do teste Extremamente raro:

$$-4 < I_g < -2 \text{ e } I_g > I_0 \times 1,2 \times \cos(\theta_z)^{1,2} + 50 \text{ e } I_g < I_0 \times 1,2 \times \cos(\theta_z)^{1,2} + 100 \quad (8)$$

$$-4 \leq GRI \leq -2 \text{ e } GRI > I_0 \times 1,2 \times \cos(\theta_z)^{1,2} + 50 \text{ e } I_g < I_0 \times \cos(\theta_z)^{1,2} + 50 \quad (9)$$

$$\text{Variação na Temp} < 5^\circ \text{ num período de 1 hora} \quad (10)$$

$$\text{Variação na Vel} > 0,1 \text{ num período de 3 horas consecutivas} \quad (11)$$

$$\text{Variação na Prec} < 25 \text{ mm num período de 1 hora} \quad (12)$$

Para a variável umidade relativa do ar (UR) não existe teste extremamente raro.

### **Comparação entre sensores**

Os dados de irradiância medidos pelos dois piranômetros são avaliados. É desejável que a correlação entre os dados medidos entre eles seja maior que 0,95.

### **Desvio Padrão e Consistência de parâmetros**

Os testes desvio padrão e consistência de parâmetros são aplicados a todas as variáveis medidas, com exceção apenas da precipitação. Os dados medidos pelas estações são adquiridos a cada segundo e registrados no datalogger a cada um minuto os valores médios, máximos, mínimos e o desvio padrão. Dessa forma são consideradas medições anômalas, as medições com desvio padrão iguais a zero. Da mesma forma, o teste de consistência de parâmetros avalia se o valor médio registrado é maior que o valor mínimo e se é menor do que o valor máximo.

### **Modelo de céu claro**

Nesse teste, os valores de irradiância de céu claro são usados para estabelecer limites máximos para os valores medidos de irradiância solar. Segundo Petribú *et al.*, (2017) os valores máximos aceitos para a irradiância global horizontal não devem ultrapassar em até 10% a radiação de céu claro para a global, contudo devido à ocorrência de eventos de irradiância extrema frequentes na região Nordeste do Brasil, sugere-se que os valores máximos aceitos para irradiância horizontal não devem ultrapassar em até 14% a radiação de céu claro ( $I_{g,clear}$ ). Os dados que não passam no teste são classificados como suspeitos.

### **Consistência temporal e Evolução temporal**

Os testes de consistência temporal e evolução temporal têm como objetivo principal estabelecer um limite aceitável para a variação na magnitude das variáveis analisadas entre amostras sucessivas ao longo do tempo. No caso das variáveis solarimétricas é aplicado o teste de consistência temporal, onde amostras consecutivas que diferirem entre si de mais de 1000 W/m<sup>2</sup> serão consideradas anômalas (Petribú *et al.*, 2017).

Aos dados meteorológicos é aplicado o teste de evolução temporal conforme descrito nas Eq. (13) a Eq. (15).

$$\text{Variação da Temp} > 0,5 \text{ }^\circ\text{C num período de 12 horas consecutivas} \quad (13)$$

$$\text{Variação da Vel} > 0,5 \text{ m/s num período de 12 horas consecutivas} \quad (14)$$

$$\text{Variação da Prec} < 100 \text{ mm num período de 24 horas consecutivas} \quad (15)$$

Para a variável umidade relativa do ar (UR) não existe evolução temporal.

### Persistência

O último teste a ser aplicado para os dados solarimétricos, é o teste de persistência. O teste avalia se as medições permaneceram constantes em um período de tempo suspeito, que podem ser consequência de mau funcionamento do sensor, quedas de energia ou sombreamentos constantes. O teste de persistência é aplicado apenas aos dados solarimétricos e avalia series de dados com repetições maiores que 20 minutos.

### 3. RESULTADOS

Os resultados dos testes de qualidade aplicados as variáveis solarimétricas estão apresentados na Tab. 3, na qual sumariza o quantitativo de dados considerados anômalos, suspeitos e os dados bons. Também, ilustra a quantidade de dados que não foram testados e a quantidade de dados disponíveis. Foi possível verificar que a série de dados passou em todos os testes globais aplicados, estando apta para o processamento dos testes locais. A série de dados avaliada apresentou apenas 0,2% de dados faltantes, esse percentual esteve relacionado na maioria das vezes aos dias em que a estação sofreu manutenções preventivas.

Os testes locais aplicados mostraram que nos dados de  $I_{g1}$  e  $I_{g2}$  apenas o teste do índice de transmissividade apresentou a ocorrência de dados que não passaram no teste, contudo em relação à série total a quantidade de dados considerados anômalos foi quase desprezível, apenas 0,002% e 0,003%. Verificou-se também que para ambas as variáveis foram registradas 4 e 2 medições consideradas extremamente raras, respectivamente. O maior percentual de dados considerados suspeitos foi apresentado pelo teste do modelo de céu claro, 0,70% e 0,61%. O teste do modelo de céu claro é um ótimo parâmetro para a avaliação de eventos de irradiação extrema ou sobreirradiação. Tal evento, é caracterizado quando a irradiação na superfície supera a irradiação incidente no topo da atmosfera, em um curto período de tempo, sendo-o atribuído ao efeito de borda de nuvens que produz um incremento na radiação difusa (Gueymard, 2017). Diversos estudos têm mostrado que o fenômeno de sobreirradiação é bastante frequente em regiões intertropicais como o Brasil, que tem sido alvo de diversas pesquisas sobre o tema (Almeida, Zilles e Lorenzo, 2015; de Andrade e Tiba, 2016; do Nascimento *et al.*, 2019, Costa *et al.*, 2021).

Os testes aplicados aos dados de GRI, ilustrados na Tab. 3, demonstraram que não houve dados suspeitos ou anômalos. Esse resultado está conforme o esperado, uma vez que, os dados da  $I_{g1}$  e  $I_{g2}$  apresentaram uma baixa quantidade de dados considerados anômalos ou suspeitos. Ainda, os testes que as variáveis  $I_{g1}$  e  $I_{g2}$  apresentaram dados suspeitos ou anômalos, são testes que não são aplicados a GRI, com exceção do teste Extremamente raro.

Tabela 3 – Resultados do processo de controle de qualidade para os dados solarimétricos.

		$I_{g1}$					
Testes	Dados Possíveis	Não disponível	Não testado	Anômalo	Suspeito	Bom	
Limites físicos	525600	1006	283961	0	0	524594	
Ângulo de elevação	525600	1006	283961	0	0	240633	
Índice de transmissividade	525600	1006	283961	6	0	240627	
Fisicamente possível	525600	1006	283961	0	0	240627	
Extremamente raro	525600	1006	283961	0	4	240623	
Comparação entre sensores	525600	1006	283961	0	0	240623	
Desvio padrão nulo	525600	1006	283961	0	0	240623	
Consistência de parâmetros	525600	1006	283961	0	0	240545	
Modelo de céu claro	525600	1006	283961	0	1979	238566	
Consistência temporal	525600	1006	283961	0	78	238566	
Persistência	525600	1006	283961	0	0	238566	
		$I_{g2}$					
Testes	Dados Possíveis	Não disponível	Não testado	Anômalo	Suspeito	Bom	
Limites físicos	525600	1006	283961	0	0	524594	
Ângulo de elevação	525600	1006	283961	0	0	240633	
Índice de transmissividade	525600	1006	283961	9	0	240633	
Fisicamente possível	525600	1006	283961	0	0	240633	
Extremamente raro	525600	1006	283961	0	2	240624	
Comparação entre sensores	525600	1006	283961	0	0	240624	
Desvio padrão nulo	525600	1006	283961	0	0	240622	
Consistência de parâmetros	525600	1006	283961	0	0	238893	
Modelo de céu claro	525600	1006	283961	0	1731	238831	
Consistência temporal	525600	1006	283961	0	62	238831	
Persistência	525600	1006	283961	0	0	240633	

<b>GRI</b>						
<b>Testes</b>	<b>Dados Possíveis</b>	Não disponível	Não testado	Anômalo	Suspeito	Bom
Limites físicos	525600	1006	0	0	0	524594
Ângulo de elevação	525600	1006	283961	0	0	240633
Fisicamente possível	525600	1006	283961	0	0	240633
Extremamente raro	525600	1006	283961	0	0	240633
Desvio padrão nulo	525600	1006	283961	0	0	240633
Consistência de parâmetros	525600	1006	283961	0	0	240633
Persistência	525600	1006	283961	0	0	240633

Os resultados dos testes de qualidade aplicados as variáveis meteorológicas estão ilustradas na Tab. 4, na qual é apresentada a quantidade de dados que passaram em cada teste. Ao analisar a Tab. 4 é possível constatar que a quantidade de dados indisponível foi mínima, representando 0,19% da quantidade total de dados, atribuído a manutenções preventivas, assim como nas variáveis solarimétricas. Com a análise da Tab. 4 é possível identificar que 4849 medições (0,92%) da temperatura do ar foram classificadas como suspeitas no critério Extremamente raro, ou seja, em um intervalo de 1 hora houve variações no valor da temperatura do ar medida maiores que 5°C. Os dados da umidade relativa do ar apresentaram apenas 12 dados considerados anômalos pelo critério de Consistência de parâmetros, o que representa 0,002% dos dados medidos. A variável velocidade do vento apresentou 1952 (0,37%) medições consideradas suspeitas no teste Extremamente raro, isto é, não houve variações nas medições maiores que 0,1 m/s durante um período consecutivo de 3 horas. Ainda, 1440 dados não foram testados no critério de Evolução temporal. Ademais, 120 dados da precipitação foram classificados como suspeitos no critério Extremamente raro, ou seja, choveu mais que 25 mm no período de 1 hora. Por fim, 1440 dados da precipitação foram considerados anômalos no teste de Evolução temporal.

Tabela 4 – Resultados do processo de controle de qualidade para os dados meteorológicos.

<b>Temp</b>						
<b>Testes</b>	<b>Dados Possíveis</b>	Não disponível	Não testado	Anômalo	Suspeito	Bom
Fisicamente possível	525600	1019	0	0	0	524581
Extremamente raro	525600	1019	0	0	4849	519732
Desvio padrão nulo	525600	1019	0	0	0	519732
Consistência de parâmetros	525600	1019	0	0	0	519732
Evolução temporal	525600	1019	0	0	0	519732
<b>UR</b>						
<b>Testes</b>	<b>Dados Possíveis</b>	Não disponível	Não testado	Anômalo	Suspeito	Bom
Fisicamente possível	525600	1006	0	0	0	524594
Desvio padrão nulo	525600	1006	0	0	0	524594
Consistência de parâmetros	525600	1006	0	12	0	524582
<b>Vel</b>						
<b>Testes</b>	<b>Dados Possíveis</b>	Não disponível	Não testado	Anômalo	Suspeito	Bom
Fisicamente possível	525600	1006	0	0	0	524594
Extremamente raro	525600	1006	180	0	1952	522462
Desvio padrão nulo	525600	1006	0	7	0	522455
Consistência de parâmetros	525600	1006	0	0	0	522455
Evolução temporal	525600	1006	1440	0	0	521015
<b>Prec</b>						
<b>Testes</b>	<b>Dados Possíveis</b>	Não disponível	Não testado	Anômalo	Suspeito	Bom
Fisicamente possível	525600	1006	0	0	0	524594
Extremamente raro	525600	1006	0	0	120	524474
Evolução temporal	525600	1006	1440	0	0	523034

Nas Tab. 5 e Tab. 6 é sintetizado o resultado final do controle de qualidade aplicado às variáveis solarimétricas e meteorológicas, respectivamente. Ao analisar a Tab. 5 é possível verificar que todas as variáveis solarimétricas medidas apresentaram mais de 45% dos dados considerados bons, ainda se for considerado só os dados referentes ao período diurno, ou seja, descontados os dados não testados, a quantidade de dados considerados bons é superior a 98,72%. Já ao observar a Tab. 6, observa-se que todas as variáveis meteorológicas apresentaram mais de 98,8% de dados considerados bons. O resultado sintetizado na Tab. 5 e na Tab. 6 demonstra que o uso de bons instrumentos, relacionado a prática de manutenções periódicas, sensores calibrados periodicamente, contribuem para a obtenção de dados de altíssima qualidade.



Tabela 5 – Resultado dos testes de qualidade nas variáveis solarimétricas.

Dados Solarimétricos							
Flag	Dados Possíveis	$I_{g1}$	%	$I_{g2}$	%	GRI	%
Não disponível	525600	1006	0,19%	1006	0,19%	1006	0,19%
Não testado	525600	283961	54,03%	283961	54,03%	283961	54,03%
Previamente anômalo	525600	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Anômalo	525600	6	0,00%	9	0,00%	0	0,03%
Suspeito	525600	2061	0,39%	1793	0,34%	0	0,00%
Bom	525600	238566	45,39%	238831	45,44%	240633	45,78%

Tabela 6 – Resultado dos testes de qualidade nas variáveis meteorológicas.

Dados Meteorológicos									
Flag	Dados Possíveis	Temp	%	UR	%	Vel	%	Prec	%
Não disponível	525600	1019	0,19%	1006	0,19%	1006	0,19%	1006	0,19%
Não testado	525600	0	0,00%	0	0,00%	1620	0,30%	1440	0,27%
Previamente anômalo	525600	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Anômalo	525600	0	0,00%	12	0,00%	7	0,00%	0	0,00%
Suspeito	525600	4849	0,92%	0	0,00%	1952	0,37%	0	0,00%
Bom	525600	519732	98,88%	524582	99,81%	522636	99,16%	523034	99,51%

#### 4. CONCLUSÃO

Uma metodologia para o controle de qualidade de dados de uma estação solarimétrica padrão EPE com medição do albedo foi apresentada. A metodologia consiste em aplicações de testes globais, testes físicos, testes comparativos e testes de refinamento, as variáveis solarimétricas e meteorológicas. Tal metodologia foi aplicada em uma estação solarimétrica instalada na cidade de Sousa/PB, que possuem piranômetros classe A, conforme a ISO 9060:2018, e sensores de alta precisão que medem, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, além da precipitação. Como resultado da aplicação da metodologia, foi encontrada uma baixa quantidade de dados considerados suspeitos ou anômalos, com as variáveis solarimétricas apresentando 98,72% de dados bons referentes ao período diurno e, as variáveis meteorológicas exibindo 98,8% dos dados bons de todo o período. O resultado apresentado é oriundo de um controle rigoroso dos dados medidos, juntamente com a aplicação de instrumentos de alta precisão, confiabilidade e frequentemente calibrados, aliado a realização de manutenções preventivas durante todo período de medição.

#### Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao seu orientador da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), e o mesmo em conjunto aos demais autores agradecem ao ISI-ER pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho e à CTG Brasil pelo custeio da bolsa de pesquisa no âmbito do projeto ANEEL PD-10381-0620/2020.

#### REFERÊNCIAS

- Almeida, Marcelo Pinho; Zilles, Roberto; Lorenzo, Eduardo, 2014. Extreme overirradiance events in São Paulo, Brazil. *Solar Energy*, v. 110, p. 168-173.
- Bailey, B., 1997. *Wind Resource Assessment Handbook*, AWS Scientific. Inc., Albany, NY.
- Bezerra, Francisco Diniz, 2006. *Energia solar*. Em: Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n.174, jul. - Caderno Setorial Etene.
- Costa, Moisés Elias Nascimento Rufino da *et al.*, 2021. Análise Da Ocorrência De Eventos De Sobreirradiância Em Natal-Rn, Brasil. In: Congresso Brasileiro De Meteorologia, 10 p. 1-3.
- De Andrade, Ricardo Cesar; TIBA, Chigueru, 2016. Extreme global solar irradiance due to cloud enhancement in northeastern Brazil. *Renewable energy*, v. 86, p. 1433-1441, 2016.
- Do Nascimento, Lucas Rafael *et al.*, 2019. Extreme solar overirradiance events: Occurrence and impacts on utility-scale photovoltaic power plants in Brazil. *Solar Energy*, v. 186, p. 370-381.
- EPE., 2021a. Instruções para solicitação de cadastramento e habilitação técnica com vistas à participação nos leilões de energia elétrica - empreendimentos eólicos - leilões de energia. Rio de Janeiro, p. p.1-37.
- EPE., 2021b. Instruções para solicitação de cadastramento e habilitação técnica com vistas à participação nos leilões de energia elétrica - empreendimentos fotovoltaicos - leilões de energia. Rio de Janeiro, p. p.1-44.

- Feng, S., Hu, Q., & Qian, W., 2004. Quality control of daily meteorological data in China, 1951–2000: a new dataset. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(7), 853-870.
- Francisco, Paulo Roberto Megna, 2015. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. Em: *Revista Brasileira de Geografia Física, Paraíba*, v. 08, n. 04, p. 1006-1016.
- Gabriel Tonello de Souza., 2023. Data-Qs – Ferramenta Numérica Para Qualificação De Dados Coletados Em Estações Automáticas De Superfície. Trabalho apresentado em Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.
- Greener. Estudo Estratégico Grandes Usinas Solares, 2021. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-grandes-usinas-solares-2021/>. Acesso em Dec. 2021.
- Guueymard, Christian A, 2017. Cloud and albedo enhancement impacts on solar irradiance using high-frequency measurements from thermopile and photodiode radiometers. Part 1: Impacts on global horizontal irradiance. *Solar Energy*, v. 153, p. 755-765, 2017.
- Jiménez, P. A., González-Rouco, J. F., Navarro, J., Montávez, J. P., & García-Bustamante, E., 2010. Quality assurance of surface wind observations from automated weather stations. *Journal of atmospheric and Oceanic Technology*, 27(7), 1101-1122.
- Long, C. N., Dutton, E. G, 2002. BSRN Global Network recommended QC tests, V2.0. BSRN Technical Report.
- Maxwell, E., Wilcox, S., & Rymes, M., 1993. Users manual for seri qc software, assessing the quality of solar radiation data. Solar Energy Research Institute, Golden, CO.
- Moraes, Camila Freitas Wanderley de Carvalho Bezerra, 2015. Procedimento Objetivo Para A Garantia Da Qualidade De Dados Observacionais De Vento Em Superfície No Litoral Do Rio Grande Do Norte. 2015. 89 f. Dissertação Mestrado - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Gonçalves, A. R.; Costa, R. S.; Lima, F. L.; Rüther, R.; Abreu, S. L.; Tiepolo, G. M.; Pereira, S. V.; Souza, J. G., 2017. Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>
- Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., ... & Parker, D., 1998. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(13), 1493-1517.
- Petribú, L., Sabino, E., Barros, H., Costa, A., Barbosa, E., & Vilela, O. C., 2017. Procedimento objetivo para a garantia de qualidade de dados de radiação solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 21, 67-78.
- Raichijk, C., 2012. Tendências observadas na duração da insolação na América do Sul. *Jornal Internacional de Climatologia* , 32 (5), 669-680.
- Silva, do Nascimento B., de Matos, M. D. F. A., de Sousa, A. R., & Emiliavaca, S. D. A. S., 2022. Análise Comparativa Entre Albedo Espectral Derivado De Satélite E Medições De Albedo Em Campo Na Cidade De Natal/Rn: A Case Study For Portable Albedo Bench Validation. In Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS (pp. 1-10).
- Tonello de Souza, Gabriel., 2023. Data-Qs – Ferramenta Numérica Para Qualificação De Dados Coletados Em Estações Automáticas De Superfície. Trabalho apresentado em Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.
- VDMA. International Technology Roadmap for Photovoltaic - 2020 Results. VDMA, [s. l.], v. 12th Ed., n. March 2021, 2021. Disponível em: <https://itrpv.vdma.org>. Acesso em Dez. 2021.
- Vejen, F., Jacobsson, C., Fredriksson, U., Moe, M., Andresen, L., Hellsten, E., ... & Arason, P., 2002. Controle de Qualidade de Observações Meteorológicas - Métodos Automáticos Utilizados nos Países Nórdicos. *Relatório Climático* , 8 , 1–102.

## PROCEDURE FOR QUALITY CONTROL OF SOLAR RADIATION DATA IN EPE STANDARD STATIONS WITH ALBEDO MEASUREMENT

**Abstract.** *Given Brazil's extremely high photovoltaic potential, it is necessary to increasingly explore the possibility of renewable energy production to ensure an efficient energy transition. To achieve this, it is essential to explore all possibilities inherent in this source, and one method that has proven advantageous is the use of bifacial solar modules, aiming to harness the reflected radiation from the ground, a consequence of the albedo of each region. However, one of the challenges in operationalizing this type of generation is the acquisition and management of meteorological stations that must, by obligation, follow the normative resolution EPE-DEE-RE-065/2013-R8, as well as the data generated by them. In order to propose an efficient and practical methodology to ensure the quality of data from a standard EPE solarimeter station, a sequence of fourteen tests subdivided into four main areas is suggested and applied to the Sousa/PB station. These areas include global tests, physical tests, comparative tests, and refinement tests, all grounded in statistics and physics. When implemented on a series of meteorological data, these tests are capable of indicating the absence, repetition, or inconsistency of the obtained data.*

**Keywords:** *Solar Energy, Quality Testing, Radiometric Tests.*