

NORMAS INTERNACIONAIS DE ENERGIA SOLAR

 **WHITE PAPER**

ISO 9060, IEC 61724-1, ISO 9846
e 9847, ISO/IEC 17025

Sumário

1. Visão geral da radiação solar
 - Irradiância Direta Normal (DNI)
 - Irradiância Horizontal Difusa (DHI)
 - Irradiância Horizontal Global (GHI)
 - Irradiância sobre o plano de painéis fotovoltaicos
 - Albedo
 - Irradiância sobre a parte traseira dos módulos fotovoltaicos bifaciais (POAREAR)
2. ISO 9060 - piranômetros e pireliômetros
 - 9060:2018
 - 2018 x 1990
3. IEC 61724-1 - monitoramento de desempenho fotovoltaico
 - Classes de monitoração
 - Comunicação e conexão
 - Sistema de monitoramento classe B
 - Sistema de monitoramento classe A
 - Quantidade de sistemas de monitoramento
 - 2021 x 2017
4. ISO 9846 e 9847 - calibração do piranômetro
 - ISO 9846 - calibração
 - ISO 9847 - calibração indoor
 - ISO 9847 - calibração outdoor
 - Verificação de confiança do local
5. ISO/IEC 17025 - acreditação de laboratório de calibração
 - Serviço de calibração acreditado da Kipp & Zonen
 - Métodos de calibração
 - Capacidade de calibração e medição

Normas Internacionais De Energia Solar:

ISO 9060, IEC 61724-1, ISO 9846 e 9847, ISO/IEC 17025

Na Kipp & Zonen, muitas vezes nos perguntam sobre os padrões internacionais acima, que são aqueles mencionados com mais frequência em relação ao projeto, operação e manutenção de usinas fotovoltaicas (PV). Algumas das considerações também podem se aplicar ao mapeamento de recursos, prospecção de locais e sistemas de energia térmica de Concentração de Energia Solar (CSP).

Para garantir que todos estejam se referindo aos mesmos parâmetros, começamos com uma visão geral dos componentes da radiação solar e como eles são medidos. Em seguida, vamos abordar a ISO 9060, que define piranômetros e pireliômetros para medir a radiação solar e as implicações da atualização da edição original de 1990 para a versão de 2018.

A IEC 61724-1 é muito mal compreendida e foi significativamente alterada na atualização publicada em julho de 2021. Escolhemos os principais pontos que afetam os equipamentos de monitoramento solar e ambiental. Isso leva aos padrões de calibração para piranômetros que são comumente especificados em outras normas internacionais relacionadas à energia solar, ISO 9846 e ISO 9847. Concluímos explicando a ISO/IEC 17025, usando como exemplo o credenciamento do laboratório de calibração radiométrica na fábrica Kipp & Zonen em Delft, nos Países Baixos.

1. Visão geral da radiação solar

O sol fornece 99,97 % da energia para o nosso planeta (o resto é energia geotérmica) e é responsável, direta ou indiretamente, pela existência da vida na Terra, condições meteorológicas e clima. A energia emitida é de aproximadamente 63 MW para cada m² da sua superfície, cerca de $3,72 \times 10^{20}$ MW no total.

A unidade de irradiância (fluxo radiativo) é Watts por metro quadrado (W/m²). Na distância média entre a Terra e o sol de 150 milhões de quilômetros, o fluxo da radiação solar que atinge a atmosfera da Terra é de $1.360,8 \pm 0,5$ W/m² (NASA, 2008). Essa quantidade é chamada de constante solar.

No entanto, ela não é constante na realidade. A Terra está mais próxima do sol em janeiro e a radiação na borda da atmosfera é 6,6 % maior do que em junho, quando estamos mais longe. Existem vários processos dentro do sol e na sua superfície, como o ciclo que controla manchas solares e erupções solares, que causam flutuações na radiação emitida – mas estas não ultrapassam 0,1 %.

A energia do sol atinge a atmosfera da Terra como um feixe direto de radiação, mas à medida que passa pela atmosfera, parte dela é dispersa em todas as direções e é denominada radiação “difusa”. Em um dia com céu claro, a irradiância total que atinge a superfície da Terra situa-se tipicamente na faixa de 700 a 1.300 W/m² ao meio-dia solar local, dependendo da latitude, altitude e época do ano.

São feitas medições terrestres de alta qualidade da radiação solar por meio de radiômetros que respondem à radiação na faixa de comprimento de onda de 300 nm ou menos até 3.000 nm ou mais, cobrindo até 99 % da energia que chega à superfície da Terra.



A energia do sol atinge a atmosfera da Terra como um feixe direto de radiação, mas à medida que passa pela atmosfera, parte dela é espalhada em todas as direções e é denominada radiação “difusa”.

Irradiância Direta Normal (DNI)

Quando a radiação direta do sol incide em uma superfície plana a 90° (normal) em relação ao feixe, e é excluída a luz dispersa vinda do céu, o fluxo radiativo é a irradiância normal direta. Em um dia claro, até 95 % da energia recebida na superfície da Terra é DNI, mas em um dia nublado, é perto de zero.

O DNI é de maior importância para as tecnologias de energia solar que dependem da focalização da luz do sol: sistemas térmicos de Concentração de Energia Solar (CSP) e Concentração Fotovoltaica (CPV). Ela é medida

Quando a radiação direta do sol incide em uma superfície plana a 90° (normal) em relação ao feixe, e é excluída a luz dispersa vinda do céu, o fluxo radiativo é a irradiância normal direta. Em um dia claro, até 95 % da energia recebida na superfície da Terra é DNI, mas em um dia nublado, é perto de zero.

O DNI é de maior importância para as tecnologias de energia solar que dependem da focalização da luz do sol: sistemas térmicos de Concentração de Energia Solar (CSP) e Concentração Fotovoltaica (CPV). Ela é medida



nublado. Os módulos fotovoltaicos respondem à luz de uma ampla gama de ângulos incidentes para que possam utilizar essa radiação difusa para produzir energia em dias nublados.

Quando a radiação difusa do hemisfério do céu incide em uma superfície plana horizontal, o fluxo radiativo é a irradiância horizontal difusa. O DHI é medido com um pirômetro horizontal montado em um rastreador solar e continuamente sombreado pelo feixe solar direto ao longo do dia. O 5° do céu que estão obscurecidos correspondem ao 5° vistos por um pireliômetro.



Irradiância Horizontal Global (GHI)

Quando toda a radiação do sol (DNI) e do céu (DHI) incide em uma superfície plana horizontal, o fluxo radiativo é a irradiância horizontal global (total). No entanto, o GHI não é simplesmente DHI + DNI.

Se estiver diretamente acima, o sol produz um feixe circular na superfície horizontal, mas à medida que se move para baixo no céu, o feixe se converte em uma elipse – da mesma forma que as sombras ficam mais alongadas no fim da tarde. O DNI é o mesmo em W/m², mas disperso por uma área maior, de modo que a irradiância na superfície horizontal diminui.

A relação é uma função cosseno:

$$GHI = DHI + DNI \cdot \cos(\theta)$$

θ é o ângulo do zênite solar (SZA), onde verticalmente acima do local é 0° e horizontal é 90°.

Portanto, o GHI = DHI + DNI ocorre apenas ao meio-dia solar e se o sol estiver a 0° SZA (o que nunca acontece fora dos trópicos).

O GHI é importante porque é o parâmetro medido em redes meteorológicas e climáticas, derivado de instrumentos de satélite e calculado com modelos de energia de céu claro. Ela é medida com um piranômetro horizontal.

As medições locais do piranômetro GHI permitem a comparação da energia solar disponível entre os locais e entre os conjuntos de dados e a validação das estimativas de satélite e modelo para o local específico.

Irradiância do Plano do Arranjo (POA)

Quando um piranômetro é montado em um ângulo, ele mede a irradiância inclinada global (GTI). Se os ângulos de inclinação do azimute e do zênite forem iguais aos dos módulos fotovoltaicos adjacentes, ele está no mesmo plano desse arranjo e medirá toda a radiação solar disponível. Isso inclui também reflexões do solo e da estrutura do arranjo de armações do arranjo na frente do piranômetro. Isso varia com o ângulo de inclinação do módulo, o espaçamento entre strings e a refletância da superfície (albedo).



A medição precisa da irradiância do POA é fundamental para calcular as eficiências da usina, os índices de desempenho e o retorno do investimento.

Albedo

Quando a radiação solar global incide sobre uma superfície, uma proporção da radiação é refletida de volta para o céu. A quantidade refletida depende das características ópticas da superfície, seu albedo. O albedo é uma quantidade adimensional e varia de 0 (perfeitamente não reflexivo) a 1 (perfeitamente reflexivo). A grama verde curta, por exemplo, tem um albedo de cerca de 0,15, já que 15 % da radiação recebida são refletidos.

Um albedômetro consiste em dois piranômetros semelhantes montados no mesmo eixo (consecutivamente), para medir o GHI e a irradiância horizontal refletida (RHI) em W/m². A razão de um para o outro é o albedo da superfície abaixo.

$$\text{Albedo} = \frac{RHI}{GHI}$$

Uma tela refletora evita que a radiação solar direta atinja o detector inferior quando o sol está baixo.





Para meteorologia, pesquisa climática e agricultura, o albedômetro geralmente fica a uma altura de até 10 m para medir a radiação refletida integrada em uma grande área e validar dados de satélite.

Em uma usina fotovoltaica, parte da radiação solar é refletida na face frontal de um módulo pela superfície anterior a ele. No entanto, o principal interesse está na luz refletida em direção à face traseira de um módulo bifacial pela superfície atrás e abaixo. Isso varia com o tipo de superfície, condições climáticas, ângulo do sol e efeitos de sombreamento.

A IEC 61724-1:2021 inclui recomendações para a medição do albedo horizontal:

- A altura mínima do detector de piranômetro inferior do solo é de 1 m para reduzir o autossombreamento da superfície, mas 1,5 m melhora a precisão das medições.
- Sem sombreamento por vegetação ou estruturas (incluindo arranjos/módulos) dentro do campo de visão de 160° – em linhas gerais isso significa a visão do piranômetro voltado para cima, mas também se refere ao sombreamento da superfície abaixo.
- Como a altura típica dos arranjos fixos é de cerca de 2,5 m, isso significa que, se a haste de montagem do albedômetro estiver a 1,5 m de altura, deve haver uma área livre ao redor do eixo vertical do albedômetro de pelo menos 8,5 m de raio.
- Minimizar o sombreamento pelo suporte. O polo fincado no solo precisa estar do lado afastado do equador e não deve se estender para cima além do plano do detector do piranômetro superior. Deve ser tão pequeno em diâmetro quanto possível para manter a rigidez, para minimizar o segmento da vista do piranômetro inferior que é bloqueado pelo poste. O ideal é que suporte não seja reflexivo.

- Devem ser usados vários albedômetros se houver variações significativas na superfície, já que é improvável que seja a mesma em todos os lugares em uma usina maior.
- Para fins de PV, os albedômetros não precisam ser tão precisos quanto os piranômetros de irradiância GHI e POA, pois é a razão do GHI para RHI naquele local que importa, não os valores absolutos.
- É melhor usar os usados a partir de cerca de duas horas de cada lado do meio-dia solar local, para minimizar os efeitos de sombreamento e ângulo solar.

Plano Bifacial da Irradiância Traseira de Plano do Arranjo (POAREAR)

Há um interesse crescente no mercado de energia solar pelos módulos fotovoltaicos com construção bifacial, em que ambos os lados de uma célula solar podem absorver a luz solar e contribuir para a produção de energia.

Os módulos bifaciais requerem mais espaço entre os arranjos para permitir que o feixe direto e a radiação difusa do céu atinjam o solo e sejam dispersos de volta para as faces traseiras. Dependendo do tipo e altura dos módulos, espaçamento linha a linha, estruturas de suporte e o grau de reflexão das superfícies visíveis na parte traseira do módulo (principalmente no solo), o ganho de energia pode ser de 10 % a 25 %.

No entanto, a quantidade de energia extra varia com as condições do céu e da superfície (mudança de albedo), com o ângulo do sol durante o dia e com a variação na trajetória do sol durante o ano (declinação solar). Além disso, a radiação extra não será a mesma em todos os pontos na parte traseira dos arranjos.

Isso significa que é problemático estimar de forma confiável a radiação que atinge a face traseira de um módulo PV bifacial a partir de medições de albedo e um modelo. É improvável que dentro de um período, e com uma incerteza, seja útil no cálculo da contribuição de rendimento adicional da face traseira nos cálculos da razão de desempenho.

Portanto, está crescendo o interesse em medir a irradiância real incidente na face traseira dos módulos. A IEC 61724-1:2021 inclui recomendações sobre isso:

- A irradiância que atinge a parte traseira de uma matriz fotovoltaica varia para cima e para baixo do arranjo e perto das extremidades.
- A distribuição espacial da irradiância refletida na face traseira varia ao longo do dia e sazonalmente. Em especial, esse é o caso com sistemas de rastreamento.
- Normalmente, três sensores são necessários para medir o perfil de irradiância e estabelecer um valor médio para os cálculos da razão de desempenho.
- Como regra geral, os sensores traseiros não precisam ser tão precisos quanto para POA dianteiro e GHI, pois a irradiância traseira é uma proporção relativamente pequena do total.

A medição precisa da irradiância do POA(TRASEIRA) provavelmente se tornará necessária para calcular as eficiências da usina, os índices de desempenho e o retorno do investimento em relação aos custos adicionais de compra, instalação e manutenção dos sistemas bifaciais; por exemplo, a necessidade de limpar as faces traseiras dos módulos.

“

O sol fornece
99,97 % da energia
para o nosso
planeta”

2. ISO 9060 - piranômetros e pireliômetros

A ISO 9060 é intitulada ‘Solar energy - Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation’. Essa norma define o que é um piranômetro para medir a irradiância horizontal ou inclinada global (GHI e POA) e, quando sombreado, DHI. Também define o que é um pireliômetro para medir o DNI.

A norma especifica os requisitos mínimos de desempenho de piranômetros e pireliômetros em várias classificações. Os principais parâmetros especificados são: tempo de resposta, zero offsets, não estabilidade, não linearidade, resposta direcional (não aplicável a pireliômetros), resposta/erro espectral, resposta de temperatura e resposta de inclinação.

Em termos ideais, um radiômetro solar deve ter uma resposta uniforme em uma ampla largura de banda espectral, para medir toda a energia solar recebida disponível, independentemente dos tipos de módulos fotovoltaicos ou coletores solares usados. Na ISO 9060 original de 1990, isso é definido como “seletividade espectral”, o desvio da média dentro da faixa de 350 nm a 1500 nm. Para conseguir isso, a medição é geralmente

Note | The standard does not refer to how performance testing should be carried out or to how the instruments should be calibrated.

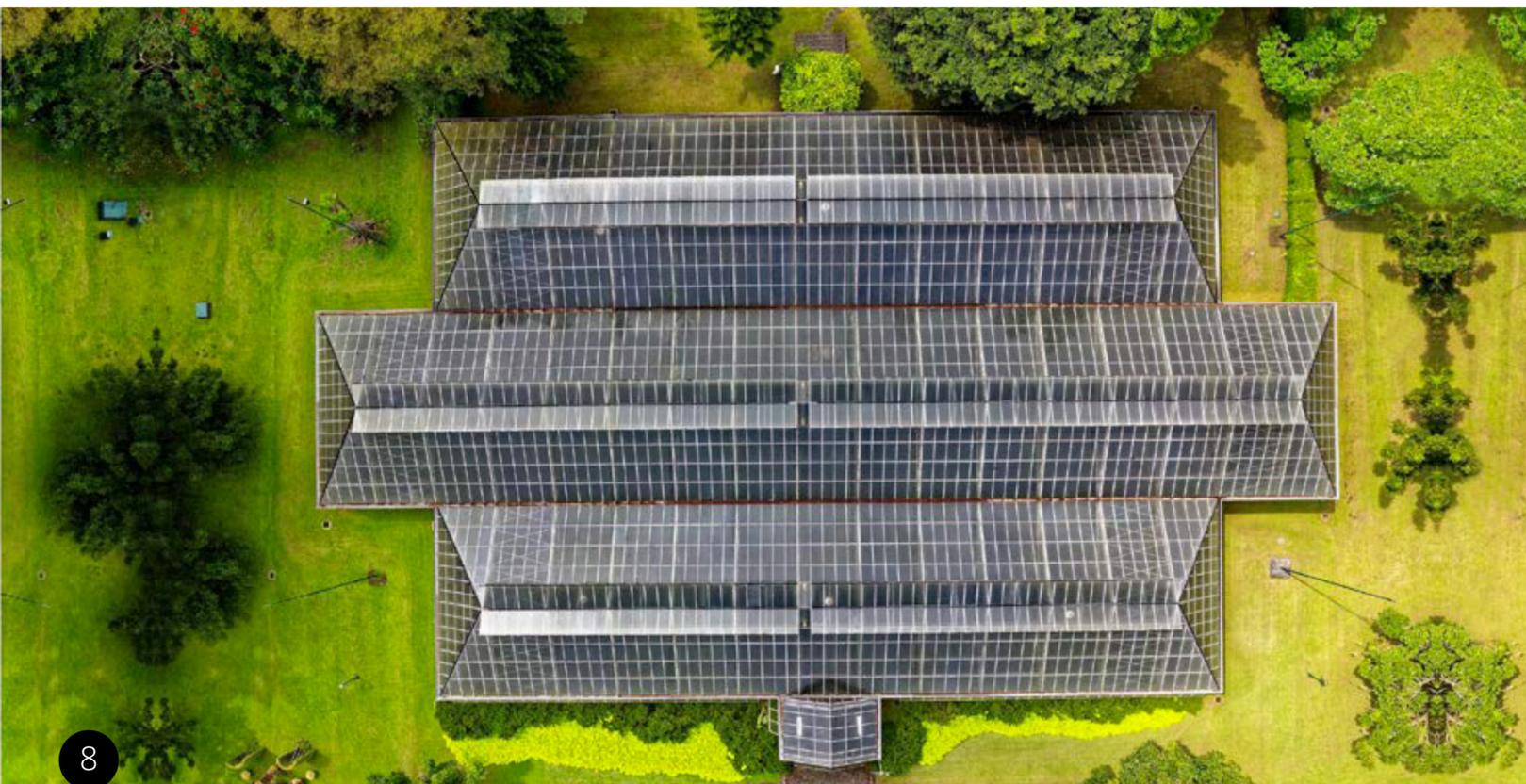
feita por um tipo de detector “termoelétrico” com um revestimento preto que absorve a radiação recebida, aquece uma termopilha e converte o aumento da temperatura em uma pequena tensão.

Quase todos os piranômetros conforme a ISO 9060:1990 usam um vidro de qualidade óptica para suas cúpulas hemisféricas simples ou duplas para proteger a superfície preta do detector de sujeira e efeitos ambientais. Dependendo do tipo de vidro, a transmissão é de 300 nm, ou menos, a cerca de 3.000 nm. Cúpulas duplas, ou uma cúpula e um difusor, proporcionam melhor estabilidade sob condições de mudança dinâmica, “isolando” ainda mais a superfície do sensor dos efeitos ambientais, como vento e flutuações rápidas de temperatura.

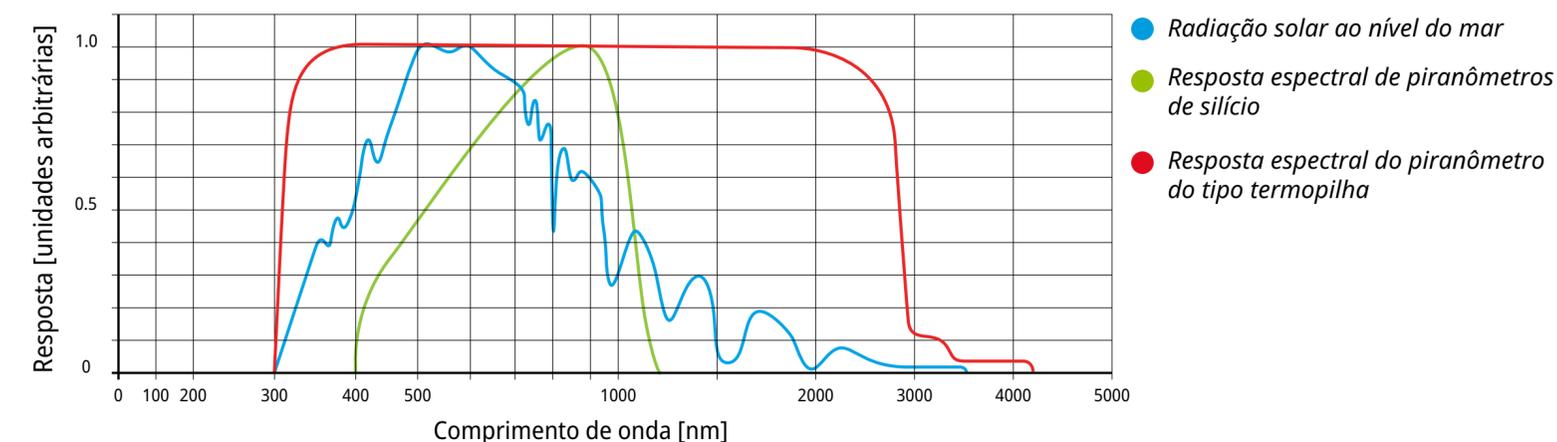
Em linhas gerais, um pireliômetro é um piranômetro com um tubo de colimação que restringe a vista a 5° e geralmente tem um disco de vidro ou quartzo como a janela de entrada para a radiação.

Os sensores fotoelétricos, inclusive células de silício e fotodiodos, têm uma resposta espectral limitada e desigual que não atende às especificações de seletividade espectral de um piranômetro ou pireliômetro, conforme definido pela ISO 9060:1990, e, portanto, tiveram que ser descritos como “piranômetros de silício” ou terminologia semelhante.

Os gráficos abaixo mostram um espectro de radiação solar de céu claro ao nível do mar e a resposta de um piranômetro de termopilha de cúpula de vidro de nível de entrada, como os modelos Kipp & Zonen CMP3 e SMP3, e um sensor de fotodiodo de silício típico, como o Kipp & Zonen SP Lite2 e RT1.



Telhado de painel solar em Sukaresmi, Indonésia



As classificações de piranômetros e pireliômetros na ISO 9060:1990 são: Segunda Classe, Primeira Classe e Padrão Secundário em ordem crescente de desempenho da medição.

Não há classificação de piranômetro Padrão Primário; para a menor incerteza de medição, o GHI é calculado a partir de medições de irradiância difusa e direta muito precisas e do ângulo do zênite solar (θ), usando a fórmula $GHI = DHI + DNI \cdot \cos(\theta)$.

A ISO 9060:1990 se refere a um padrão primário para pireliômetros, mas não é designada como uma classificação de desempenho. Este é um "radiômetro de cavidade absoluta" (ACR) que é tem alto custo e pode fazer medições apenas sob boas condições climáticas, como o PMO8 produzido pela Davos Instruments, na Suíça.

A maioria dos piranômetros conforme a ISO 9060:1990 era fornecida apenas com um certificado de calibração de sensibilidade. Os modelos usados em aplicações "científicas", como o Kipp & Zonen CMP21 e CMP22, eram normalmente fornecidos com relatórios de teste de resposta de temperatura e resposta direcional separadamente, de modo que os dados de medição pudessem ser corrigidos posteriormente, se necessário.

ISO 9060:2018

A segunda edição atualizada foi publicada em novembro de 2018. Ocorreram duas grandes mudanças nas especificações:

1 Na especificação de 1990, os parâmetros têm valores-limite, por exemplo, $\pm 0,5\%$. Na versão de 2018, existem "bandas de guarda" que representam o intervalo entre um limite de tolerância e um limite de aceitação correspondente, de modo que o valor possa se tornar $\pm 0,5\%$ com uma faixa de proteção de $0,2\%$. Isso se destina a representar a incerteza na determinação do valor real

2 Em relação à resposta espectral, a mudança é de "seletividade espectral" em 1990 para "erro espectral de irradiância do céu claro" em 2018. Isso é calculado pela convolução dos espectros solares de referência para a massa de ar 1,5 e a massa de ar 5 com a resposta espectral medida do radiômetro. Isso representa GHI e DNI através de uma atmosfera clara em ângulos de zênite solar de 48° e 78° e cobre pelo menos 90% da radiação recebida em um local.

As classificações básicas de piranômetros e pireliômetros conforme a ISO 9060:2018 são:

Classe C	Classe B	Classe A
----------	----------	----------

em ordem crescente de desempenho da medição.

Isso significa que um piranômetro espectralmente plano da classe A é essencialmente o mesmo que o padrão secundário de 1990. No entanto, as classe B e C de piranômetros espectralmente planos têm melhor seletividade espectral do que a Primeira Classe e a Segunda Classe de 1990, respectivamente.

Há um novo "zero offset (c)" que leva em consideração os offsets na eletrônica de piranômetros ativos e um novo parâmetro "erros adicionais de processamento de sinal". Isso se aplica ao sinal interno ou externo ou ao processamento de dados que faz parte da saída de medição da irradiância do radiômetro.

Se o radiômetro atender aos critérios de "seletividade espectral" de 1990 para um piranômetro padrão secundário, o termo "espectralmente plano" poderá ser usado de acordo com a ISO 9060:2018

Espectralmente plano classe C	Espectralmente plano classe B	Espectralmente plano classe A
-------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

em ordem crescente de desempenho da medição.

Se o tempo de resposta de 95% for inferior a 0,5 segundo, o termo "resposta rápida" pode ser usado; por exemplo, "Classe de Resposta Rápida C" seria típico para o sinal de saída analógico de um sensor de fotodiodo sem amplificação. Os amplificadores analógicos geralmente incluem filtragem que retarda o tempo de resposta. Observe que os radiômetros com comunicação de dados em série RS-485 Modbus® RTU podem ter o tempo de resposta limitado pela taxa de atualização nos registros de dados de saída.

A ISO 9060:2018 exige que os piranômetros de Classe A sejam testados individualmente para garantir que as respostas de temperatura e direcional estejam em conformidade com os requisitos de classificação.

Há uma classificação adicional, classe AA para pireliômetros de "referência" que, conseqüentemente, devem ser "espectralmente planos" e devem ser um radiômetro de cavidade absoluta. Há também um parâmetro extra para piranômetros e pireliômetros, "Erros adicionais de processamento de sinal". Isso se aplica ao sinal interno ou externo ou ao processamento de dados que faz parte da saída de medição da irradiância do radiômetro.

O termo "difusômetro" é introduzido, referindo-se a um piranômetro juntamente com a estrutura ou mecanismo para protegê-lo da radiação solar direta.

2018 x 1990

O ponto-chave a ter em mente é que os piranômetros e pireliômetros não mudaram significativamente. Um modelo como o Kipp & Zonen CMP10 fornecido até outubro de 2018 era o Padrão Secundário da ISO 9060:1990, mas a partir de novembro de 2018 tornou-se espectralmente plano da classe A da ISO 9060:2018.

O instrumento é o mesmo e são os mesmos o desempenho, a incerteza de calibração e a incerteza geral dos dados de irradiância medidos. A principal diferença para o usuário final é que ele agora recebe relatórios de teste de temperatura e erro direcional, além do certificado de calibração de sensibilidade.

Classificações do Piranômetro ISO 9060 da Kipp & Zonen

ISO 9060:2018	Classe C	Espectralmente plano classe C	Espectralmente plano classe B	Espectralmente plano classe A
ISO 9060:1990	Não permitida	Segunda Classe	Primeira Classe	Padrão Secundário
Desempenho	Mais bajo	→	→	Mais alto
Piranômetros passivos	SP Lite2 (Resposta Rápida)	CM4 CMP3	CMP6	CMP10 CMP11 CMP21 CMP22
Piranômetros inteligentes	RT1	SMP3	SMP6	SMP10 SMP11 SMP12 (NEW) SMP21 SMP22

Nota | Um piranômetro de padrão secundário da ISO 9060:1990 não pode ser reclassificado como espectralmente plano da classe A conforme a ISO 9060:2018 a menos que sejam realizados os testes de temperatura e resposta direcional, cuja execução normalmente implica o envio do instrumento ao fabricante.

3. IEC 61724-1 Monitoramento de Desempenho Fotovoltaico

Existem várias normas internacionais em relação ao monitoramento do desempenho da usina de energia solar que foram adotados pelas principais partes interessadas em todo o mundo.

A mais recente e mais abrangente delas é a IEC 61724-1, Photovoltaic system performance - Part 1: Monitoring, publicada em março de 2017. Também serve como base de duas normas para análise de desempenho que se baseiam nos dados coletados, IEC TS 61724-2 e IEC TS 61724-3 publicados em 2016.

A IEC 61724-1 descreve equipamentos, métodos e terminologia para o monitoramento e análise de desempenho de sistemas de usinas de energia solar conectados à rede, desde a entrada de irradiância até a saída de energia CA. A norma se aplica a módulos fotovoltaicos convencionais de ângulo fixo, rastreamento de eixo único e rastreamento de eixo duplo e a sistemas concentradores (CPV).

Como resultado do feedback da indústria, esta norma foi substancialmente revisada para segunda edição e a atualização foi publicada em julho de 2021. É recomendável adquirir o documento na webstore da IEC.

A Parte 1 da IEC 61724-1 aborda sensores, instalação e precisão para equipamentos de monitoramento, além da aquisição de dados de parâmetros medidos, verificações de qualidade, parâmetros calculados e critérios de medição de desempenho. Aqui está uma visão geral de como a norma se aplica ao monitoramento da irradiância solar e outros fatores ambientais.

Classes de monitoração

Na IEC 61724-1:2021 são definidas duas classes de sistemas de monitoramento que correspondem a diferentes níveis de incerteza de monitoramento e às aplicações comerciais e industriais (C & I) e de escala de serviços públicos pretendidas

APLICAÇÕES TÍPICAS	Classe B - Precisão Média	Classe A - Alta Precisão
Aplicação pretendida	Telhado e C & I pequenas-médias	C & I grandes e escala de serviços públicos
Intervalo máximo de amostragem para irradiância, temperatura, vento e saída elétrica	1 min	5 seg
Intervalo máximo de amostragem para sujeira, chuva, neve e umidade	Não especificado, presume-se que seja o mesmo que o intervalo máximo de gravação	Não especificado, presume-se que seja o mesmo que o intervalo máximo de gravação
Intervalo máximo de gravação	15 min	5 min 1 min recomendado

Para a Classe A, todos os parâmetros devem ser monitorados no local. Para a Classe B, é aceitável estimar as medições de outras fontes de dados, como redes meteorológicas ou satélites, mas elas podem não estar disponíveis com proximidade suficiente ou em tempo real.

Os parâmetros que devem ser monitorados e os tipos de sensores necessários para cada estação de monitoramento dependem da Classe de Monitoramento. A medição de DNI E DHI está incluída na Classe A para fins específicos, mas aqui nos concentraremos na medição da irradiância GHI e POA.

Nota

A IEC 61724-1:2021 refere-se às classificações de piranômetro conforme a ISO 9060:2018

Comunicação e Conexão

O padrão da indústria de energia solar para comunicação de dados em série dentro de plantas fotovoltaicas é o RS-485 de 2 fios com protocolo Modbus® RTU por meio de equipamentos de monitoramento endereçáveis individualmente em um pequeno número de loops de barramento de dados. A energia é distribuída em 12 ou 24 VDC.

Inversores, hubs e gateways agora usam isso e muitos não têm mais entradas analógicas. Muitas vezes, não há registro de dados locais no campo e todos os sensores se conectam ao sistema de controle de supervisão e aquisição de dados (SCADA) do local para armazenamento, análise e visualização de dados pelo software de monitoramento da usina e para acesso remoto.

Normalmente, há uma caixa de passagem à prova de intempéries sob um arranjo à qual todos os sensores se conectam para dados e energia CC, usando blocos de terminais de trilho DIN. Isso deve ter um bom aterramento/Terra de Proteção e é onde qualquer proteção necessária contra surtos, picos, raios e ESD deve estar localizada para as linhas de energia CC e RS-485 para os instrumentos de monitoramento.

O cabeamento blindado de RS-485 geralmente é passado, pelo subsolo, da caixa de junção para a sala de controle e o sistema SCADA. Os sistemas SCADA são programados para se comunicar com o equipamento de monitoramento do local pelo proprietário da usina ou pelos engenheiros de TI do operador.

Quando uma saída Modbus® RTU não está disponível a partir de um sensor, 4-20 mA é geralmente o tipo de saída analógica preferido para uso com as entradas de registradores de dados industriais de baixo custo e/ou cabos longos.



Estação de Monitoramento Classe B

1 Sensor de Irradiância POA e 1 GHI

Dispositivo fotovoltaico de “referência de trabalho” ISO 9060:2018 classe C ou IEC 60904-2. Incerteza de calibração: $\leq 3\%$ at 1000 W/m^2

Faixa de medição: até 1500 W/m^2

Resolução: $\leq 1 \text{ W/m}^2$

A maioria dos fotodiodos de silício e sensores de células não atende a esta especificação de incerteza de calibração.

Alinhamento do POA: dentro de 1° de inclinação, 2° de azimute

Alinhamento GHI: dentro de 0.5°

Manutenção: conforme recomendado pelo fabricante

Recalibração: conforme recomendado pelo fabricante

Limpeza e atenuação de sujeira: não especificado

Atenuação de orvalho e geada: não especificado

1 sensor de temperatura do módulo fotovoltaico

Incerteza de medição: $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ou melhor

Resolução: $\leq 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$

Recalibração: conforme recomendado pelo fabricante

Outros parâmetros ambientais

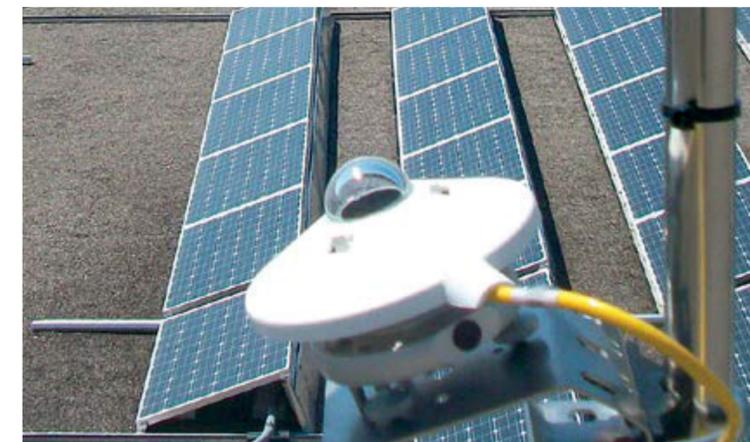
- Temperatura do ar ambiente com ventilação forçada – para análise de tendências históricas
- Velocidade do vento – afeta o resfriamento da superfície dos módulos
- Precipitação – para correlacionar com a perda de geração de energia devido à água nos módulos

Recomenda-se a realização de verificações periódicas de confiança no local do sensor. Inspeção completa do sistema pelo menos uma vez por ano.

Equipamento recomendado:

Todos com comunicação de dados RS-485 Modbus® RTU.

- 2 piranômetros SMP3 Kipp & Zonen espectralmente planos da classe C ISO 9060:2018 ou
- 2 piranômetros SMP6 Kipp & Zonen espectralmente planos da classe B ISO 9060:2018
- 1 estação meteorológica multifuncional Lufft WS600-UMB – também mede a direção do vento, a pressão do ar e a umidade e calcula o ponto de orvalho
- 1 sensor de temperatura do módulo Lufft WT1 – conecta-se ao WS600



Não é preciso monitorar a umidade, mas essa é medida pelo WS600, o que é útil porque o valor é necessário para calcular o ponto de orvalho do ar, que pode ser correlacionado com a perda de energia causada pelo orvalho ou geada. Isso é mencionado na norma como um benefício.

O sensor de precipitação do radar WS-600 não precisa de manutenção regular e produz precipitação em tempo real para correlacionar com a energia gerada. Em áreas secas e empoeiradas, um pluviômetro de balde basculante precisará de limpeza regular e, no caso de chuviscos leves, pode levar muito tempo até que o balde entorne e a água pode evaporar antes disso.

Nota | Existem diretrizes rígidas na IEC 61724-1 em relação aos sensores de temperatura do módulo, posição, condutividade térmica da montagem e a precisão geral da medição

Estação de Monitoramento Classe A

1 Sensor de Irradiância POA e 1 GHI

Dispositivo fotovoltaico de “referência de trabalho” da ISO 9060:2018 espectralmente plano da classe A ou IEC 60904-2. Incerteza de calibração $\leq 2\%$ at 1000 W/m²

Faixa de medição: até 1500 W/m²

Resolução: ≤ 1 W/m²

Apenas os melhores e mais caros sensores de células da IEC 60904-2 podem atender a esta especificação de incerteza de calibração.

Alinhamento do POA: dentro de 0,5° de inclinação, 1° de azimute

Alinhamento GHI: dentro de 0,5°

Manutenção: conforme recomendado pelo fabricante

Recalibração fabricante: a cada 2 anos, mais frequentemente se recomendado pelo

Inspeção: Verificação de POA semanalmente quanto a sujeira, desalinhamento e falhas

Limpeza e atenuação de sujeira: limpe semanalmente, mas com menos frequência se as condições permitirem ou se for empregada a tecnologia atenuar ou corrigir a sujeira equivalente à limpeza semanal ou detecção de sujeira

Atenuação de orvalho e geada: necessária se forem esperados orvalho e geada por > 2 % das horas anuais de GHI; os meios podem incluir aquecimento e ventilação externa; o aquecimento não deve perturbar a precisão ou classificação, a ventilação interna ou externa pode ser usada para manter a precisão

3 sensores de irradiância POAREAR

Classe C da ISO 9060:2018 (ou melhor).

Incerteza de calibração: $\leq 3\%$ a 1000 W/m²

Faixa de medição: até 1500 W/m²

Resolução: ≤ 1 W/m²

A maioria dos fotodiodos de silício e sensores de células não atende a esta especificação de incerteza de calibração.

Manutenção: conforme recomendado pelo fabricante

Recalibração: conforme recomendado pelo fabricante

Cleaning and soiling mitigation: não especificado

Dew and frost mitigation: não especificado

Mínimo de 3 sensores de temperatura do módulo fotovoltaico

Incerteza de medição: ± 1 °C ou melhor

Resolução: ≤ 0.1 °C

Recalibração: conforme recomendado pelo fabricante

Outros parâmetros ambientais

- Temperatura do ar ambiente – para análise de tendências históricas
- Velocidade do vento – afeta o resfriamento da superfície dos módulos
- Direção do vento – para análise de tendências históricas
- Precipitação – para correlacionar com a perda de geração de energia devido à água nos módulos
- Neve – para correlacionar com a perda de geração de energia; se as perdas anuais típicas de neve sem limpeza forem > 2 % e não identificadas pela medição de sujeira
- Taxa de sujeira – se as perdas anuais típicas de sujeira sem limpeza forem > 2 %

Recomenda-se a realização de verificações periódicas de confiança no local do sensor. Inspeção completa do sistema pelo menos uma vez por ano.

Equipamento recomendado:

Todos com comunicação de dados RS-485 Modbus® RTU.

- 2 piranômetros SMP12 Kipp & Zonen espectralmente planos da classe A de resposta rápida ISO 9060:2018 com aquecimento embutido (sem partes móveis) para evitar a formação de orvalho ou geada na cúpula

OU

- 2 piranômetros SMP10 Kipp & Zonen espectralmente planos da classe A conforme ISO 9060:2018 da com unidades de aquecimento e ventilação CVF4 se a atenuação de sujeira for o principal problema



- 1 estação meteorológica multifuncional Lufft WS600-UMB – além das vantagens do WS-600 mencionadas no monitoramento de Classe B, também pode distinguir chuva de neve
- 1 sensor de temperatura do módulo Lufft WT1 – conecta-se ao WS600
- 1 sistema de monitoramento de sujeira DustIQ da Kipp & Zonen, incluindo sensor de temperatura do módulo – se necessário



A IEC 61724-1:2021 inclui dispositivos de medição de sujeira com base em princípios ópticos que detectam partículas de sujeira em uma superfície de coleta de acordo com seu efeito na reflexão ou transmissão de luz (como no DustIQ).

No sistema recomendado, existem um ou dois sensores de temperatura do módulo. Para os 1 ou 2 pontos de medição restantes necessários para o monitoramento de classe A (mínimo de 3 unidades), serão necessários sensores Modbus® RTU separados, por exemplo, o Tm-RS485-MB do Ingenieurbüro Mencke & Tegtmeyer (IMT).

Capacidade da usina (CA)	Número de sistemas de monitoramento
< 40 MW	2
≥ 5 MW to < 100 MW	3
≥ 100 MW to < 300 MW	4
≥ 300 MW to < 500 MW	5
≥ 500 MW to < 700 MW	6
≥ 700 MW	7 (+ 1 para cada 200 MW adicionais)

2021 x 2017

Em comparação com a edição original de 2017 da norma, na IEC 61724-1:2021 existem muitas mudanças significativas, que foram amplamente baseadas no feedback do setor.

- O padrão original tinha três qualidades de monitoramento do desempenho da usina fotovoltaica. No entanto, a classe C (Qualidade Básica) tinha precisão insuficiente para ser útil para plantas conectadas à rede e foi excluída.
- Para o monitoramento das classes B e A, as especificações do sensor de irradiância foram atualizadas para a ISO 9060:2018 e foram feitas outras alterações. Por exemplo, os intervalos de calibração necessários foram alterados. Para sensores de irradiância de monitoramento de classe A, as soluções de atenuação para sujeira, orvalho e geada foram estendidas e esclarecidas. Os limites de alinhamento do piranômetro foram estreitados.
- O número de sensores de temperatura do módulo fotovoltaico por estação foi reduzido para um para a classe B e mínimo de três para a classe A.
- Para a classe A, foram adicionados o monitoramento de albedo e de POAREAR.
- Foram incluídos monitores de sujeira de tecnologia óptica, que não estavam disponíveis antes de 2017.



Onde os locais têm ângulos de módulo variados, deve haver POA adicional e monitoramento de sujeira, ou alguns módulos podem estar voltados para o leste e alguns



4. ISO 9846 e 9847 - calibração do piranômetro

Várias normas internacionais relacionadas à energia solar exigem que os piranômetros para a medição da Irradiância Horizontal Global (GHI) ou Irradiância Inclinada Global (GTI, incluindo Plano de Arranjo, POA) sejam calibrados de acordo com a ISO 9846:1993 ou ISO 9847:1992.

A ISO 9846 trata da calibração outdoor de um piranômetro por meio de um piranômetro de referência. A ISO 9847 é para calibração de um piranômetro de campo contra um piranômetro de referência e existem métodos para calibrações outdoor e indoor

Uma calibração do piranômetro externo para ISO 9846 ou ISO 9847 requer 2-3 dias de céu limpo (mais dias se houver nebulosidade parcial). Existem requisitos rígidos para a montagem do piranômetro de campo/teste e dos instrumentos de referência, limpeza durante o período, registro de dados, processamento de dados e validação de dados. Devido a essas restrições de tempo e clima, todos os fabricantes de piranômetros realizam calibração indoor em conformidade com a ISO 9847 sob condições controladas.

A IEC 61724-1:2021 estipula que, para o monitoramento de classe A, os sensores de irradiância devem ser recalibrados a cada dois anos e para classe B, de acordo com as instruções do fabricante. A Kipp & Zonen recomenda a recalibragem dos piranômetros de campo a cada dois anos.

As calibrações devem ser rastreáveis à World Radiometric Reference (WRR), que tem uma incerteza de $\pm 0,3\%$ no nível de confiança de 95%. A WRR está localizada no World Radiation Centre (WRC) em Davos, Suíça, e o WRC é operado pelo Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos (PMOD) por nomeação da Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Para estar em conformidade com os padrões, há muitas informações que devem ser incluídas no certificado de calibração do instrumento. Os pontos principais são:

- Detalhes do piranômetro de teste e do instrumento de referência
- Método de calibração, local, data e horário
- Hierarquia de rastreabilidade para o WRR
- Condições de calibração; faixa de ângulos de zênite solar, temperatura e irradiância
- Resultado da calibração, tipicamente em $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ ou $\text{Wm}^2/\mu\text{V}$
- Incerteza geral do resultado



ISO 9846 - calibração

A ISO 9846 "Solar Energy - Calibration of a pyranometer using a pyrhelimeter" trata da calibração outdoor por meio de um pireliômetro de referência montado em um rastreador solar automático de precisão que mede a Irradiância Direta Normal (DNI). Esse é o padrão de calibração recomendado para piranômetros que se destinam a ser usados como instrumentos de referência, inclusive para calibrações ISO 9847.

Existem dois métodos, em que "sol" se refere à radiação global e "sombra" se refere à radiação difusa:

Sol e sombra contínuos

O piranômetro de teste mede o GHI. Um piranômetro de referência é continuamente sombreado para MEDIR o DHI, enquanto o DNI é medido pelo pireliômetro. A partir desses dois valores e do ângulo de incidência do feixe direto, o GHI de "referência" pode ser calculado e comparado com os valores de GHI do piranômetro de teste.

Para a medição do DHI, o piranômetro de referência deve ser aquecido e ventilado para minimizar zero offsets. No entanto, o piranômetro de teste geralmente não é aquecido nem ventilado e, portanto, inclui offsets

mais altos na medição de GHI.

O sol e a sombra contínuos são o método usado com mais frequência, pois é mais fácil de realizar com equipamentos de produção e vários piranômetros de teste podem ter uma mesa de montagem horizontal simples, o que permite que sejam calibrados simultaneamente. No entanto, isso requer céu limpo para obter bons resultados.

Sol e sombra alternados

O piranômetro de referência não é usado. O piranômetro de teste tem uma armação de sombreado para bloquear o feixe direto do sol e pode ser movido para fora da visão do piranômetro, de modo que a medição se alterne entre GHI (sol) e DHI (sombra). A partir desses dois valores e do ângulo de incidência do feixe direto, o DNI visto pelo piranômetro pode ser calculado e comparado com os valores de DNI do piranômetro de referência.

Uma vantagem desse método é que os zero offsets são efetivamente os mesmos para as medições de sol e sombra e, portanto, são excluídos da calibração de sensibilidade. A vista do céu também é a mesma para ambas as medições e o método alternado fornece melhores resultados sob condições de nebulosidade dispersa.

Se o piranômetro de teste for montado em um rastreador solar para apontar para o sol ao longo do dia (como faz o piranômetro) e as condições forem alternadamente com sombreado e sem sombreado, o feixe direto é sempre normal para o detector de piranômetro e não há erro direcional que afete a sensibilidade e isso reduz ainda mais a incerteza de calibração.

Em ambos os métodos, uma melhor classificação do piranômetro fornecerá uma menor incerteza de calibração do piranômetro de teste. Para a menor incerteza, o pireliômetro deve ser um radiômetro de cavidade absoluta (ACR).

Os piranômetros de referência para as instalações de calibração operadas pela Kipp & Zonen / OTT Hydromet são calibrados pelo método de sol e sombra alternados inclinados e um pireliômetro de referência ACR, conforme descrito acima.



ISO 9847 Calibração Indoor

A ISO 9847 é intitulada “Solar energy - Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer” e isso abrange dois tipos de método. O tipo I é para calibração outdoor pelo uso de radiação solar como fonte, ao passo que o tipo II é para calibração indoor pelo uso de uma fonte de radiação artificial sob condições controladas. Os instrumentos de referência devem ter uma calibração adequada que, no momento do uso, tenha sido realizada nos últimos 12 meses.

O tipo IIc é para calibração indoor de feixe direto, conforme descrito no Anexo A “Calibration Devices Using Artificial Sources”. O equipamento e método mencionados no Anexo A.3.1 é o “Kipp & Zonen Device and Procedure”. Este é o método de calibração usado por quase todos os fabricantes de piranômetros. A Kipp & Zonen melhorou este procedimento desde a descrição original de 1992.

O equipamento de calibração está localizado em uma sala escura com acesso seguro e onde a temperatura é controlada, geralmente em torno de +20 °C. Um piranômetro de referência e um piranômetro de teste do mesmo tipo são iluminados igualmente por um feixe de luz de uma lâmpada de haleto de metal que está diretamente acima deles e tem uma fonte de alimentação muito estável. A irradiância nos detectores do piranômetro é ajustada para ser de aproximadamente 500 W/m², este é o nível de referência para a especificação de não linearidade da ISO 9060.

Para levar em conta a falta de homogeneidade no feixe de luz, os piranômetros de referência e teste são montados em uma plataforma giratória que pode ser girada com precisão por 180 graus para trocar suas posições no campo de luz. Os dois piranômetros podem ser sombreados simultaneamente para determinar os offsets causados por efeitos térmicos sob a lâmpada.

“ Os instrumentos de referência devem ter uma calibração adequada realizada nos últimos 12 meses. ”

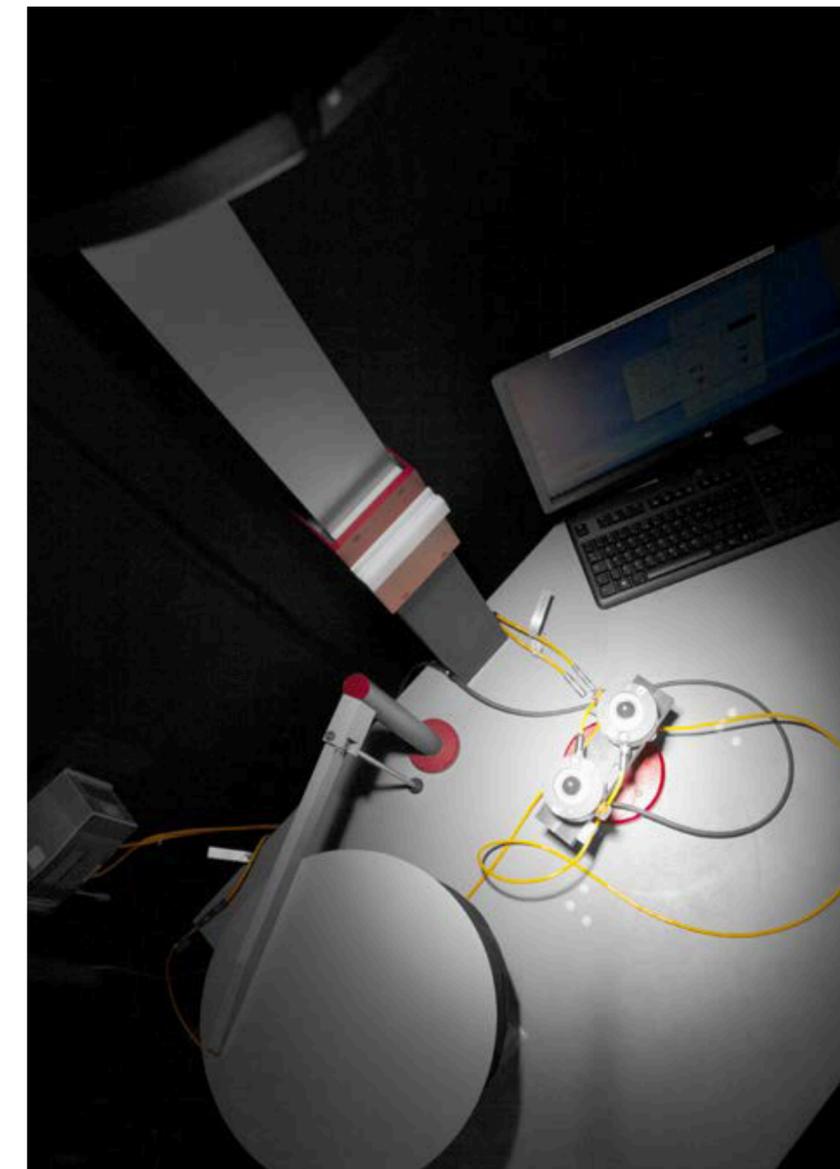
A ISO 9847 afirma que os piranômetros de referência devem ser calibrados ao ar livre para a ISO 9846 e a sensibilidade era para as condições de medição naquele momento, conforme indicado na hierarquia de rastreabilidade para o WRR no certificado de calibração. Por esta razão, para transferir a calibração de referência para o piranômetro de campo em um ambiente fechado é muito importante que os dois piranômetros tenham características de construção, tempo de resposta, térmicas e espectrais semelhantes.

A incerteza combinada da calibração é a “raiz quadrada da soma dos quadrados” positiva da incerteza expandida na calibração do piranômetro relativa à WRR e a incerteza expandida do procedimento de transferência no laboratório Kipp & Zonen (estimado em $\pm 0,5 \%$). A incerteza total estimada pode chegar a $\pm 1 \%$ para o piranômetro modelo CMP22 no nível de confiança de 95 % ($k=2$).

Os equipamentos e procedimentos de calibração são os mesmos nos centros de calibração regionais da Kipp & Zonen/OTT Hydromet que na fábrica em Delft, Países Baixos. O processo é amplamente automatizado e funciona através de um servidor de calibração e banco de dados na fábrica e é o mesmo para novos piranômetros de produção e para instrumentos de campo do cliente, que são inspecionados, limpos e testados antes da recalibração.

Há um grande número de verificações de controle e garantia de qualidade realizadas automaticamente, incluindo a verificação de que está sendo usado o tipo correto de piranômetro de referência e que sua calibração é válida. Cada piranômetro de referência é identificado de forma exclusiva por um dispositivo de identificação por radiofrequência (RFID) vinculado ao banco de dados. O histórico de calibração dos piranômetros de campo está disponível e pode ser verificado quanto à estabilidade.

Se as verificações de controle e garantia de qualidade forem aprovadas, um certificado de calibração detalhado e uma etiqueta de instrumento são gerados pelo servidor, armazenados no banco de dados e enviados para as impressoras da instalação de calibração. O certificado é impresso no papel timbrado original do centro de calibração autorizado da Kipp & Zonen.



ISO 9847 - calibração outdoor

A ISO 9847 permite que os piranômetros sejam calibrados ao ar livre em uma escolha de três orientações. O tipo Ia é horizontal (GHI), Ib é inclinado (GTI ou POA) e Ic é montado em um rastreador automático e apontado para o sol. O tipo Ia é mais comumente usado porque é fácil garantir que os piranômetros de referência e de campo estejam todos no mesmo ângulo (horizontal) e tenham a mesma visão amplamente desobstruída do céu.

Como mencionado anteriormente, uma calibração do piranômetro externo requer dois a três dias de céu limpo (mais dias se houver nebulosidade parcial) e há requisitos rigorosos para a montagem dos piranômetros de referência e de campo. Eles devem ser mantidos limpos durante o período de calibração e é improvável que o sistema típico de registro/aquisição de dados da usina fotovoltaica

atenda aos requisitos de processamento e validação de dados. Provavelmente, será necessário um data logger científico de alta qualidade.

Geralmente, não é prático nem econômico fazer calibrações no local conforme a ISO 9847 e, portanto, os encarregados de observações e medições fotovoltaicas geralmente enviam piranômetros para um centro de calibração do fabricante nos intervalos programados, normalmente a cada dois anos.

No entanto, é possível realizar com mais facilidade e rapidez uma “verificação de confiança do local” das medições do piranômetro de campo, conforme descrito a seguir. A maioria dos pontos apresentados também se aplica à preparação para uma calibração externa real conforme a ISO 9847.

Verificação de confiança do local

A IEC 61724-1:2021 recomenda verificações cruzadas periódicas de cada sensor em relação aos sensores irmãos ou dispositivos de referência para identificar sensores fora de calibração. A OMM permite (e recomenda) “Verificações de rotina de fatores de calibração” pela comparação com um piranômetro de referência entre as calibrações programadas.

Este tipo de verificação de confiança do local para piranômetros é semelhante a uma calibração externa conforme a ISO 9847, mas com montagens mais simples, um período de medição mais curto, muito menos processamento de dados e sem certificado detalhado. Pode ser realizado em uma usina solar pelo pessoal de observações e medições ou por um terceiro.

Quando fazer a comparação?

Normalmente, duas a três horas de cada lado do meio-dia solar local (não às 12h) em um dia em que o sol está claro; algumas nuvens dispersas que estejam longe do sol não farão uma diferença significativa. O ideal é que isso seja feito no verão, quando a trajetória do sol é mais alta no céu.

Prepare o piranômetro de campo

Primeiro, o piranômetro de campo deve ser inspecionado e quaisquer danos observados (de preferência devem ser fotografados) devem ser detectados e corrigidos. Deve-se limpar o piranômetro, substituir o dessecante (se aplicável), verificar o cabeamento e o alinhamento e observar as condições climáticas.

Piranômetro de referência

É necessário usar um piranômetro limpo e bem conservado com uma calibração rastreável recente e confiável, que deve ter um desempenho pelo menos tão bom quanto o piranômetro de campo (o ideal é usar um Kipp & Zonen CMP22 ou SMP22

para minimizar a incerteza de medição de referência). Se o piranômetro de referência for mantido protegido contra o frio, seco e no escuro quando não estiver em uso para as verificações de confiança, a sensibilidade não mudará significativamente com o tempo.

O CMP22 e o SMP22 têm uma incerteza de sensibilidade de cerca de $\pm 1\%$ no nível de confiança de 95% ($k=2$) em comparação com as condições de calibração aplicáveis. Ao medir ao ar livre, as condições são diferentes e mudam durante o dia, portanto ocorrem mais erros/incertezas de medição. O SMP22 tem excelente correção de temperatura interna $< 0,3\%$ ($-40\text{ }^\circ\text{C}$ a $+70\text{ }^\circ\text{C}$), baixos offsets térmicos e boa resposta direcional e não linearidade. Em uma verificação de confiança, um SMP22 deve medir dentro de $\pm 1,1\%$ do valor “verdadeiro”.

Montagem

O melhor resultado de comparação é obtido montando os piranômetros de referência e de campo horizontalmente e próximos uns dos outros e com uma visão clara do céu para medir a irradiância horizontal global (GHI). No entanto, você pode montar o piranômetro de referência inclinado com precisão nos mesmos ângulos que um piranômetro de campo do Plano do Arranjo (POA) e próximo a ele. O mais importante é garantir que ambos tenham a mesma visão do solo e dos arranjos à sua frente.

Não deve haver sombras nas cúpulas do piranômetro durante o período de comparação. Se isso não puder ser evitado devido às estruturas do local, os dados desses momentos devem ser excluídos da análise.



Calibragem de piranômetros de campo na UNAM, México

Registradores de dados

Ambos os piranômetros devem ser conectados ao mesmo registrador de dados portátil de alta qualidade, pois pode haver problemas com o cabeamento do local, a energia ou os sistemas do registrador de dados/ SCADA.

LOGBOX SE



O LOGBOX SE é compacto, à prova de intempéries, possui várias entradas e as baterias internas podem comandar facilmente piranômetros SMP durante o período de comparação (os modelos CMP não necessitam de energia). Normalmente, deve-se fazer uma amostragem a cada segundo e registrar as médias de um minuto com os desvios máximo, mínimo e padrão. Isso permite que os dados baixados sejam rastreados quanto a valores atípicos antes de comparar as medições em uma planilha.

O LOGBOX SE não tem visor, mas pode ser configurado no local, os dados ao vivo podem ser vistos e os arquivos registrados podem ser baixados via USB com um laptop e o software de configuração do Windows™.

METEON 2.0



O METEON 2.0 não é à prova de intempéries, mas a verificação de confiança é realizada apenas sob boas condições. O piranômetro de campo geralmente é um modelo CMP e o METEON 2.0 possui apenas uma entrada analógica, portanto, a referência geralmente deve ser do tipo SMP.

O METEON 2.0 pode comandar piranômetros inteligentes com as baterias internas e dispõe de um visor para que os dados ao vivo possam ser vistos. Ele dispõe de software Windows™, comunicação USB com um laptop e pode registrar como o LOGBOX SE, mas não calcula o desvio padrão.

O METEON 2.0 é fornecido em um estojo reforçado com espaço para um piranômetro de referência e cabo, o que o torna um prático kit portátil. Ele tem um modo de comparação exclusivo que faz a maior parte do trabalho para você. Ele soma a irradiância total durante o período de registro de cada piranômetro e é gerado um relatório no registrador que mostra a diferença entre esses dois totais como uma porcentagem.



O modo de comparação METEON 2.0 não pode rastrear os dados dentro do total em busca de valores atípicos. Portanto, impeça que as leituras do piranômetro sofram interferência durante o período de medição, como sombras das estruturas do local ou pessoas que caminhem nas proximidades.

Após o período de registro

Reconecte o piranômetro de campo ao cabo da usina e verifique os dados com o piranômetro/registrador de referência para ver se há um problema com os sistemas do local. Dependendo do intervalo de registro do local, pode ser necessário que isso dure até 30 minutos

Relatório de visita ao local

Analise os dados e faça um relatório que inclua todas as informações relevantes; detalhes da inspeção, trabalho realizado, condições climáticas, equipamentos utilizados e a diferença entre as irradiâncias totais medidas pelos piranômetros de referência e de campo.

A questão importante é se essa diferença está dentro da incerteza esperada. Caso contrário, pode ser útil trocar ou recalibrar o piranômetro de campo, sem esperar até a próxima data agendada

O que é a incerteza esperada?

A diferença de medição provável esperada depende dos modelos de piranômetros de referência e de campo e das condições ambientais. Os piranômetros mais comumente especificados em aplicações de energia solar atendem aos requisitos do padrão secundário da ISO 9060:1990 ou da classe A

espectralmente plana da ISO 9060:2018. Normalmente, esses são um modelo CMP10 ou CMP11 da Kipp & Zonen ou equivalentes SMP10 ou SMP11 Smart. Todos estes têm uma incerteza de calibração de cerca de $\pm 1,4\%$.

As condições de medição de campo diferem das condições de calibração, principalmente a temperatura e o ângulo do feixe solar direto, causando outros erros. Mas, na maioria dos ambientes, pode-se esperar que um CMP10, CMP11, SMP10 ou SMP11 recém calibrado (ou novo) meça o total de "verificação" dentro de $\pm 2\%$ do valor "verdadeiro". A ISO 9060:2018 permite que os

piranômetros da classe A tenham uma não estabilidade (mudança na responsividade) em operação de até $\pm 0,8\%$ ao ano (com uma banda de guarda de $\pm 0,25\%$). No entanto, se mantidos corretamente, piranômetros de termopilha bem projetados e fabricados devem ter um desvio temporal significativamente menor do que isso e, ao longo de um ou dois anos, é provável que esteja dentro da incerteza de (re)calibração.

Se o piranômetro de referência for um SMP22, é provável que o total medido de irradiância durante o período da verificação esteja dentro de $\pm 1,1\%$ do valor "verdadeiro". Se o piranômetro de campo

CMP10, CMP11, SMP10 ou SMP11 tiver sido mantido corretamente, ele deverá estar dentro de $\pm 2\%$.

Em princípio, o piranômetro de referência pode estar indicando $1,1\%$ alto e o piranômetro de campo 2% baixo (ou o contrário). Portanto, a diferença pode ser de até $\pm 3,1\%$ e, como as incertezas estão todas no nível de confiança de 95% , em 5% dos casos a diferença pode ser maior. No entanto, isso é improvável e possivelmente eles estarão dentro de 2% um do outro.

O que fazer a seguir?

As circunstâncias de observações e medições do local e os requisitos de controle e garantia de qualidade variam. No entanto, pode ser recomendável (para o cenário descrito) que, se a diferença for superior a $\pm 2,5\%$, o piranômetro de campo seja recalibrado.

Se a diferença for significativamente maior, é possível que o piranômetro de campo tenha sido danificado de alguma forma e deverá ser examinado, reparado e recalibrado. Os problemas podem ser danos causados por uma queda (ou algum outro impacto), raios ou outros danos elétricos; ou uma falha na inspeção e troca do dessecante externo, o que faz com que ele acumule umidade internamente em algum momento.

Embora essa não seja uma calibração conforme a ISO 9847, é um método confiável para verificar os piranômetros de campo no local para ver se estão medindo a irradiância solar dentro da incerteza esperada.

“
O sol é responsável, direta ou indiretamente, pela existência da vida na Terra, condições meteorológicas e clima.”

5. ISO/IEC 17025 - acreditação de laboratório de calibração

O título da norma ISO/IEC 17025 é: “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories”. Quando um laboratório é acreditado de acordo com esta norma, o sistema de gestão foi aprovado, os métodos utilizados para calibração são validados, os resultados da calibração foram comparados de forma independente com os resultados de outros laboratórios acreditados e as incertezas declaradas foram verificadas. Os procedimentos para todo o processo de calibração estão sendo aplicados, garantindo que todos os instrumentos recebam uma calibração adequada e correta e que a qualidade constante seja fornecida.

A acreditação ISO/IEC 17025 é a norma mais importante para laboratórios de calibração e teste em todo o mundo. A acreditação ajuda o usuário final a minimizar o risco, melhorando a confiança nas medições de irradiância. Muitos usuários industriais, inclusive em energia solar, exigem calibrações de instrumentos de medição por laboratórios credenciados. Isso inclui piranômetros e pireliômetros usados para o monitoramento de desempenho de usinas de energia solar

Serviço de calibração acreditado da Kipp & Zonen

O laboratório de calibração radiométrica na fábrica Kipp & Zonen em Delft, Países Baixos, foi acreditado

de acordo com a norma de gestão da qualidade ISO/IEC 17025 para calibração de sensibilidade de piranômetros e pireliômetros. A acreditação é feita pelo conselho de acreditação dos Países Baixos, o “Raad voor Accreditatie” (RvA), que é por lei o organismo nacional de acreditação dos Países Baixos e, portanto, é membro da Cooperação Europeia para a Acreditação (EA). A RvA é cossignatária da Cooperação Internacional de Acreditação de Laboratórios (ILAC) para laboratórios e organismos de inspeção e do Fórum Internacional de Acreditação (IAF) para organismos de certificação. Os piranômetros das séries CMP, SMP e CM4 da Kipp & Zonen agora são fornecidos com certificados de calibração de sensibilidade com os logotipos da RvA e ILAC.



Isto também se aplica ao piranômetro PR1 e aos pireliômetros PH1 instalados no sistema de monitoramento solar tudo-em-um RaZON+ e aos pireliômetros CHP1 e SHP1 que são normalmente usados com os rastreadores solares SOLYS. Todos os

modelos de radiômetro acima podem ser recalibrados em conformidade com ISO/IEC 17025 e para muitos instrumentos mais antigos: CM3, CM6B, CM11B, CM21, CM22 e CH1.

Métodos de calibração

Os piranômetros são calibrados em ambientes fechados de acordo com a ISO 9847:1992 tipo IIc, Anexo

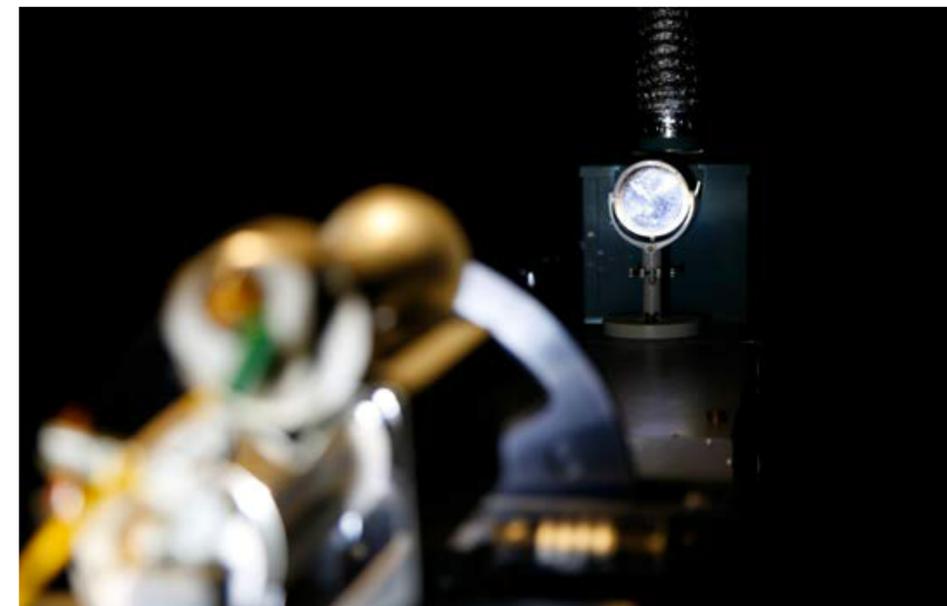
A.3.1 "Kipp & Zonen Device and Procedure", conforme descrito anteriormente. Este é o procedimento de fábrica atual que foi aprimorado desde a descrição original de 1992. Os piranômetros de referência são calibrados ao ar livre em conformidade com a ISO 9846:1993 pelo método de sol e sombra alternados inclinados e um pireliômetro de referência ACR.

Os pireliômetros são calibrados em ambientes fechados usando um método de comparação semelhante de radiômetros de referência e teste, mas com um feixe solar direto simulado horizontal, ao passo que os pireliômetros de referência e teste são movidos alternadamente para dentro e para fora do centro do campo de luz. Este método foi

desenvolvido e aprimorado pela Kipp & Zonen ao longo de muitos anos e é comprovado em muitas comparações internacionais de pireliômetros e o Conselho de Acreditação determinou que este é um método válido e preciso.

Os pireliômetros de referência são calibrados ao ar livre com um radiômetro de cavidade absoluta (ACR) de acordo com a ISO 9059:1990 "Solar Energy – calibration of field pyrhelimeters by comparison to a reference pyrhelimeter".

Todas as calibrações do piranômetro e do pireliômetro Kipp & Zonen são rastreáveis na World Radiometric Reference (WRR), que representa as unidades do SI de irradiância e tem uma incerteza de $\pm 0,3\%$ no nível de confiança de 95 %.



Close-up da calibração do pireliômetro

Capacidade de calibração e medição

Um dos parâmetros mais importantes em qualquer certificado de acreditação ISO/IEC 17025 é a Capacidade de Calibração e Medição (CMC) no nível de cobertura/confiança de 95 %. Esta é a melhor incerteza de calibração que pode ser alcançada e varia de laboratório para laboratório, dependendo dos processos e da rastreabilidade utilizados.

A Kipp & Zonen é credenciada para calibração de sensibilidade com excelentes valores de CMC de 0,9 % para piranômetros e 1,1 % para pireliômetros. A incerteza de calibração do instrumento indicada no certificado depende do modelo do radiômetro e de suas características de desempenho, mas os CMCs credenciados demonstram o alto nível dos métodos, procedimentos e processos de qualidade da fábrica.

A rentabilidade da sua planta fotovoltaica muda todos os dias – sempre saiba o porquê.

Identifique com facilidade as causas com dados precisos e em tempo real que afetam a taxa de desempenho. Com um sistema de monitoramento abrangente respaldado pela Kipp & Zonen e pela instrumentação da Lufft, a OTT HydroMet oferece um conjunto confiável e confiável de soluções e serviços adaptados ao monitoramento solar fotovoltaico.

Insights para especialistas

Para obter mais informações, entre em contato com

OTT HydroMet B.V.
Delftechpark 36
2628 XH Delft | The Netherlands
+31 15 2755 210
solar-info@otthydromet.com
www.kippzonen.com

OTT HydroMet GmbH
Ludwigstraße 16
87437 Kempten | Germany
+49 831 5617-0
euinfo@otthydromet.com
www.otthydromet.com

OTT HydroMet
22400 Davis Drive | Suite 100
Sterling, Virginia | US 20164
+1 (800) 949-3766-2
salesna@otthydromet.com
www.otthydromet.com

