



Desempenho energético de edifícios — Condições climáticas externas — Parte 1: Conversão de dados climáticos para cálculos de energia

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 3.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) chama atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos deste documento podem ser objeto de direito de patente. A ABNT não deve ser considerada responsável pela identificação de quaisquer direitos de patentes.

Ressalta-se que Normas Brasileiras podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os Órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar outras datas para exigência dos requisitos desta Norma.

A ABNT NBR ISO 52010-1 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Eficiência Energética e Desempenho Térmico nas Edificações (CE-002:135.007).

Esta Norma é uma adoção idêntica da ISO 52010-1:2017, que foi elaborada pelo *Technical Committee ISO/TC 163, Thermal performance and energy use in the built environment, Subcommittee SC 2, Calculation methods*, em colaboração com *European Committee for Standardization (CEN) Technical Committee CEN/TC 89, Thermal performance of buildings and building components*.

A ABNT NBR ISO 52010-1 não se aplica aos projetos de construção que tenham sido protocolados para aprovação no órgão competente pelo licenciamento anteriormente à data de sua publicação como Norma Brasileira, bem como àqueles que venham a ser protocolados no prazo de 180 dias após esta data.

O Escopo desta Norma Brasileira em inglês é o seguinte:

Scope

This document specifies a calculation procedure for the conversion of climatic data for energy calculations.

The main element in this document is the calculation of solar irradiance on a surface with arbitrary orientation and tilt. A simple method for conversion of solar irradiance to illuminance is also provided.

The solar irradiance and illuminance on an arbitrary surface are applicable as input for energy and daylighting calculations, for building elements (such as roofs, facades and windows) and for components of technical building systems (such as thermal solar collectors, PV panels).

Other parameters of climatic data needed to assess the thermal and moisture performance of buildings, building elements or technical building systems [like wind, temperature, moisture and long-wave (thermal) radiation] are to be obtained according to the procedures in in 15927-4. These data are listed in this document



as input and passed on as output without any conversion.

NOTE 1 The reason for passing these data via this document is to have one single and consistent source for all EPB standards and to enable any conversion or other treatment if needed for specific application.

NOTE 2 Table 1 in the Introduction shows the relative position of this document within the set of EPB standards in the context of the modular structure as set out in ISO 52000-1.



ABNT NBR ISO 52010-1 - Desempenho energético de edifícios — Condições climáticas externas — Parte 1: Conversão de dados climáticos para cálculos de energia

Introdução

Este documento faz parte de uma série destinada à harmonização internacional da metodologia de avaliação do desempenho energético das edificações. Essa série denomina-se “conjunto de normas DEE”.

Todas as normas DEE seguem regras específicas para garantir a consistência, clareza e a transparência geral.

Todas as normas DEE proporcionam uma certa flexibilidade relacionada aos métodos e dados de entrada requisitados, além de referências para as outras normas DEE, por meio da introdução de modelos normativos no Anexo A e de definições padrão informativas no Anexo B.

Para o correto uso deste documento, é fornecido um modelo normativo no Anexo A para a especificação dessas escolhas. Definições padrão informativas são fornecidas no Anexo B.

O público alvo deste documento são os arquitetos, engenheiros e reguladores.

Uso por reguladores: Caso o documento seja utilizado no contexto de requisitos legais nacionais ou regionais, as definições obrigatórias podem ser dadas em nível nacional ou regional para aplicações específicas. Essas definições (tanto para os padrões informativos do Anexo B, ou as escolhas adaptadas às necessidades nacionais/regionais, mas em qualquer caso seguindo o modelo do Anexo A) podem ser disponibilizadas como anexo nacional ou como documento separado (por exemplo, legal) (ficha de dados nacional).

NOTA 1 Assim, neste caso:

- os reguladores especificarão as definições;
- o usuário individual aplicará o documento para avaliar o desempenho energético de uma edificação, e, desta forma, usar as escolhas definidas pelos reguladores.

Os assuntos abordados neste documento podem estar sujeitos à regulamentação pública. A regulamentação pública sobre os mesmos assuntos pode substituir os valores padrão do Anexo B. A regulamentação pública sobre os mesmos assuntos pode, inclusive, para certas aplicações, substituir o uso deste documento. Os requisitos e escolhas legais, em geral, não são publicados em normas, mas em documentos legais. A fim de evitar publicações duplas e a dificuldade de atualização de documentos duplos, um anexo nacional pode referir-se aos textos jurídicos em que as definições nacionais tenham sido estabelecidas pelas autoridades públicas. Diferentes anexos nacionais ou fichas de dados nacionais são possíveis, para diferentes aplicações.

Espera-se que, nos casos em que os valores padronizados, as definições e as referências à outras normas DEE do Anexo B não sejam seguidos devido às regulamentações nacionais, políticas ou tradições, que:

- as autoridades nacionais ou regionais elaborem fichas de dados contendo as opções e os valores nacionais ou regionais, de acordo com o modelo do Anexo A. Neste caso, um anexo nacional (por exemplo, N-A) é recomendado, contendo a referência para estas fichas de dados;



- ou, por padrão, o órgão de normalização nacional considerará a possibilidade de adicionar ou incluir um anexo nacional de acordo com o modelo do Anexo A, de acordo com os documentos legais que definam as opções e valores nacionais e regionais.

Outros grupos de interesse são as partes que promovem hipóteses mediante a classificação de desempenho energético de edificações para um estoque de edificações existentes.

Mais informações são fornecidas no Relatório Técnico (ISSO/TR 52010-2^[6]), que acompanha este documento.

O subconjunto de normas DEE, preparado sob a responsabilidade do ISO/TC 163/SC 2, *Thermal performance and energy use in the built environment — Calculation methods*, abrange, entre outros:

- procedimentos de cálculo da utilização global da energia e do desempenho energético de edificações;
- procedimento de cálculo da temperatura interna dos edifícios (por exemplo, no caso de aquecimento e refrigeração do ambiente);
- indicadores para requisitos de DEE parciais relacionados ao balanço termoenergético e às características da construção;
- métodos de cálculo que abrangem o desempenho e as características térmicas, higrotérmicas, solares e visuais de partes específicas da edificação, assim como de elementos e de componentes específicos do edifício, tais como os elementos opacos da envoltória, os pisos em contato com o solo, as janelas e as fachadas.

A ISO/TC 163/SC 2 coopera com outros TCs para o detalhamento de, por exemplo, equipamentos, sistemas técnicos da edificação e do ambiente interno.

Este documento fornece:

- Procedimentos padrão de cálculo para a conversão de dados meteorológicos horários a serem aplicados como dados de entrada para cálculos de desempenho energético, em particular o cálculo da irradiância solar em uma superfície inclinada arbitrariamente.
- Procedimentos para o uso de (outros) resultados provenientes da ISO 15927-1, da ISO 15927-2, e da ISO 15927-4 como dado de entrada para a avaliação do DEE.

Dados climáticos comuns padronizados devem ser utilizados para todos os módulos DEE relevantes. A maioria dos dados de entrada estão disponíveis por meio da ISO 15927-1, ISO 15927-2, ISO 15927-4, ISO 15927-5 e da ISO 15927-6.

Estes dados incluem as variáveis por intervalo de tempo, conforme descrito na ISO 52000-1:2017, 11.5.

A Tabela 1 mostra a relação deste documento com o conjunto de normas DEE no contexto da estrutura modular estabelecida na ISO 52000-1.

NOTA 2 A mesma tabela pode ser encontrada no relatório técnico ISO/TR 52000-2^[7], com, em cada módulo, a indicação das normas DEE relevantes e os relatórios técnicos publicados ou em elaboração.

NOTA 3 Os módulos representam as normas DEE, embora uma norma DEE possa cobrir mais de um módulo, e um módulo possa ser coberto por mais de uma norma DEE; por exemplo, um método simplificado e detalhado respectivamente. Ver também Tabelas A.1 e B.1

Tabela 1 — Relação deste documento (no caso M1–13), com a estrutura modular do conjunto de normas DEE

Submódulo	Geral		Edificação (propriamente dita)		Sistemas Técnicos da Edificação									
	Descrição		Descrição		Descrição	Aquecimento	Refrigeração	Ventilação	Umidificação	Desumidificação	Água Quente	Iluminação	Automação e controle predial	Fotovoltaico, eólica, ...
sub1		M1		M2		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
1	Geral		Geral		Geral									
2	Termos e definições comuns; símbolos, unidades e subscritos		Demanda energética da edificação		Demanda								a	
3	Aplicações		(Livre) Condições internas sem sistemas		Carga máxima e potência									
4	Formas de expressar o desempenho energético		Formas de expressar o desempenho energético		Formas de expressar o desempenho energético									
5	Categorias e limites da edificação		Transferência térmica por transmissão		Insuflação e controle									
6	Ocupação do edifício e condições de operação		Transferência térmica por infiltração e ventilação		Distribuição e controle									
7	Agrupamento de serviços de energia e operadoras de energia		Ganhos de calor interno		Armazenamento e controle									
8	Zoneamento da edificação		Ganhos de calor solar		Geração e controle									
9	Desempenho energético calculado		Dinâmicas da edificação (massa térmica)		Despacho de carga e condições de operação									



Submódulo	Geral		Edificação (propriamente dita)		Sistemas Técnicos da Edificação										
	Descrição		Descrição		Descrição	Aquecimento	Refrigeração	Ventilação	Umidificação	Desumidificação	Água Quente	Iluminação	Automação e controle predial	Fotovoltaico, eólica, ...	
sub1		M1		M2		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	
10	Desempenho energético medido		Desempenho energético medido		Desempenho energético medido										
11	Inspeção		Inspeção		Inspeção										
12	Formas de expressar conforto térmico no ambiente interno				BMS (Automação)										
13	Condições ambientais externas	ISO 52010-1													
14	Cálculo de economia														

^a Os módulos sombreados não são aplicáveis.



Desempenho energético de edifícios — Condições climáticas externas — Parte 1: Conversão de dados climáticos para cálculos de energia

1 Escopo

Este documento especifica um procedimento de cálculo para a conversão de dados climáticos para cálculos de energia.

O principal procedimento neste documento é o cálculo da irradiância solar em uma superfície com orientação e inclinação arbitrárias. Um método simples para a conversão da irradiância solar em iluminância também é fornecido.

A irradiância solar e a iluminância em uma superfície arbitrária são aplicáveis como dados de entrada para cálculos de energia e de iluminação natural, para elementos da edificação (como coberturas, fachadas e janelas) e para componentes de sistemas técnicos da edificação (como coletores solares e painéis fotovoltaicos).

Outros parâmetros de dados climáticos necessários para avaliar o desempenho higrotérmico de edifícios, elementos da edificação ou sistemas técnicos da edificação [como o vento, a temperatura, a umidade e a radiação (térmica) de onda longa] são obtidos de acordo com os procedimentos da ISO 15927-4. Estes dados são listados neste documento como dados de entrada e transmitidos como resultados sem qualquer conversão.

NOTA 1 A razão para transmitir esses dados por meio deste documento é a de estabelecer uma fonte única e consistente para todas as normas DEE e permitir que qualquer outra conversão ou tratamento necessários sejam realizados para aplicações específicas.

NOTA 2 A Tabela 1 na Introdução mostra a relação deste documento com o conjunto de normas DEE no contexto da estrutura modular estabelecida na ISO 52000-1.

2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ISO 7345, Thermal insulation – Physical quantities and definitions

ISO 9488, Solar energy – Vocabulary

ISO 15927-4, Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling

ISO 52000-1, Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment – Part 1: General framework and procedures

ISO 52016-1, Energy performance of buildings – Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads – Part 1: Calculation procedures

NOTA Por padrão, as referências às normas DEE diferentes da ISO 52000-1 são identificadas pelo código do módulo DEE e apresentadas no Anexo A (modelo normativo na Tabela A.1) e Anexo B (modelo informativo na Tabela B.1).

EXEMPLO Código do módulo DEE: M5-5, ou M5-5,1 (caso o módulo M5-5 seja subdividido), ou M5-5/1 (caso este se refira a uma seção específica da norma cobrindo o módulo M5-5).

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições da ISO 7345, ISO 9488, ISO 52000-1 e os descritos abaixo.

A ISO e a IEC mantêm as bases de dados terminológicos para uso na normalização nos seguintes endereços:

- IEC Electropedia: disponível em <<http://www.electropedia.org/>>
- ISO Online browsing platform: disponível em <<http://www.iso.org/obp>>

3.1

norma DEE

norma que cumpre os requisitos determinados pela ISO 52000-1, CEN/TS 16628 e CENT/TS 16629

Nota de entrada 1: Estes três documentos básicos do DEE foram desenvolvidos sob um mandato conferido ao CEN pela Comissão Europeia e Associação Europeia de Livre Comércio (Mandato M/480) e apoiam os requisitos essenciais da Diretiva EU 2010/31/EU sobre o desempenho energético de edificações (DEE). Várias normas DEE e documentos relacionados são desenvolvidos ou revisados sob o mesmo mandato.

[FONTE: ISO 52000-1:2017, definição 3.5.14]

3.2

declinação solar

ângulo entre a direção da radiação solar direta e o plano equatorial da terra

3.3

iluminância

<em um ponto de uma superfície> quociente do fluxo luminoso incidente em um elemento da superfície que contém o ponto, dividido pela área desse elemento

Nota de entrada 1: É expresso em lux, $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^{-2}$.

[FONTE: ISO 16817:2012, definição 3.14]

4 Símbolos e abreviações



4.1 Símbolos

Para fins deste documento, se aplicam os símbolos fornecidos na ISO 52000-1, além dos seguintes:

NOTA Se, neste documento, um símbolo estiver relacionado com um subscrito específico, o símbolo é mostrado com o subscrito.

Símbolo	Nome da variável	Unidade
D	direção do vento	°
f	coeficientes de brilho (modelo de Perez)	–
E_V	iluminância global	lx
F	coeficiente	–
G	irradiância	W/m ²
H	altura	m
H	irradiação solar (acumulada, mensal)	kW h/m ²
i	índice	–
I	irradiância calculada	W/m ²
K_V	eficácia luminosa global	lm/W
k_T	índice de claridade	–
L	distância	m
m	massa de ar	–
n	número	–
R_{dc}	desvio da órbita terrestre	°
n	índice	–
t	tempo	min, h
TZ	fuso horário	h
u_{10}	velocidade do vento	m/s
x	teor de umidade ou razão de umidade	kg/kg
α	ângulo	°
β	ângulo	°
γ	ângulo	°
δ	declinação solar	°
ε	parâmetro de claridade (<i>clearness parameter</i> , modelo de Perez)	–
θ	temperatura em Celsius	°C
θ	ângulo	°



λ	longitude	°
φ	humidade relativa	—
φ	ângulo, latitude	°
ρ	refletividade	—
ω	ângulo da hora	°

4.1 Subscritos

Para fins deste documento, se aplicam os subscritos dados na ISO 52000-1, além dos seguintes:

NOTA Se necessário, os subscritos relevantes já fornecidos na ISO 52000-1 são incluídos para a compreensão deste documento.

Subscrito	Termo	Subscrito	Termo
a	atmosfera, ar	ic	superfície de qualquer inclinação
an	anual	l	onda longa
b	raio solar	m	mensal
c	constante	obst	obstáculo
circum	circunsolar	segm	segmento
d	dia	sol	solar
d	difuso	sh	sombreamento
dif	difuso	tot	total
dir	direto	v	visual, luz
eq	equação	w	estação meteorológica
ext	extraterrestre	z	zênite
g	global	0, 1, ...	índice
grnd	solo	11, 12, ...	índice

5 Descrição dos métodos

5.1 Resultado do método

Este documento abrange principalmente o método genérico de cálculo horário da irradiância solar em uma superfície de qualquer orientação e inclinação, opcionalmente incluindo o efeito de sombreamento por objetos distantes.

Para evitar erros graves, no caso do cálculo separado do efeito do sombreamento de objetos cujos sombreamentos se sobrepõem, recomenda-se que o cálculo do efeito de sombreamento causado por objetos externos seja feito considerando o padrão de aplicação onde a posição, a localização e o entorno da superfície irradiada são conhecidos.

Por este motivo, o resultado de irradiância solar não é fornecido somente como um valor total, mas também para diferentes componentes. A posição do sol é um resultado adicional deste documento, que pode ser necessário para o cálculo do efeito do sombreamento em outras normativas.

Os resultados possuem intervalo de tempo horário.

Outras informações do conjunto de dados climáticos (não relacionados à radiação solar) não necessitam de conversão, podendo ser utilizadas diretamente nas normas DEE relevantes. Estas também estão listadas na tabela de resultados.

NOTA A razão para transmitir esses dados por meio deste documento é a de estabelecer uma fonte única e consistente para todas as normas DEE e permitir que qualquer outra conversão ou tratamento necessário seja realizado para aplicações específicas.

5.2 Descrição geral do método

O método fornece procedimentos para calcular a distribuição da irradiância solar em uma superfície plana não horizontal, com base em dados horários de radiação solar em uma superfície horizontal.

NOTA A explicação e justificativa são fornecidas na ISO/TR 52010-2^[6]. O modelo é nomeado em homenagem ao Sr. Perez. Muitas melhorias foram realizadas ao longo do tempo, conforme consta na lista de referências da bibliografia do relatório técnico. O procedimento de cálculo descrito neste documento é baseado no “modelo simplificado de Perez”, proposto no início da década de 90.

Essencialmente, o modelo é composto por três diferentes componentes:

- a) uma representação geométrica da cúpula do céu;
- b) uma representação paramétrica das condições de insolação;
- c) um componente estatístico relacionando os dois componentes mencionados anteriormente.

É um modelo de céu anisotrópico, onde a cúpula do céu é geometricamente dividida em três áreas, cada uma delas apresentando uma radiância constante, diferente das outras duas.

Estas três áreas são:

- isotrópica difusa (para a abóbada celeste);
- radiação circunsolar;
- brilho do horizonte.

Para os fins deste documento, o seguinte é adicionado:

- radiação isotrópica refletida no solo.

A radiação difusa (do céu) para a superfície utiliza como dado de entrada os valores horários da radiação solar difusa horizontal e da radiação solar direta. Outros dados de entrada do modelo incluem o ângulo de incidência do sol em relação à superfície, o ângulo de inclinação da superfície a partir da horizontal e o ângulo

zenital do sol.

O sombreamento por objetos distantes é considerado por meio de um coeficiente de correção do sombreamento para a radiação direta. O sombreamento da radiação difusa e da reflexão por objetos distantes não é considerado. O sombreamento por elementos verticais e horizontais é calculado por meio da ISO 52016-1. No caso da combinação de objetos de sombreamento, especificados em diferentes normativas (como neste documento e na ISO 52016-1), o cálculo do efeito não deve ser realizado separadamente, pois os efeitos podem se sobrepôr, levando à consideração duplicada. Por essa razão, este documento fornece como resultado a opção entre a radiação solar não sombreada e a sombreada. O efeito (combinado) de objetos de sombreamento pode ser feito pela aplicação normativa, como a ISO 52016-1 para as demandas de aquecimento e refrigeração, a carga de projeto ou a temperatura interna; ou, por exemplo, em normas que avaliam a performance energética de coletores solares e de painéis fotovoltaicos em ambientes construídos. Tais normas contém todos os detalhes do objeto avaliado e do entorno.

6 Método de cálculo

6.1 Resultados

Os resultados deste método são listados nas Tabelas 2 a 4.

Os dados gerais necessários quando o conjunto de dados climáticos é utilizado como entrada em outras normas são fornecidos na Tabela 2.

A irradiância solar total calculada é fornecida sem e com o efeito do sombreamento solar por objetos externos (ver 6.4.3).

A posição solar (altura e azimute) é necessária como dado de entrada para os cálculos de sombreamento solar, após o cálculo da irradiância de acordo com este documento. Para o mesmo propósito, os resultados são divididos em irradiância direta e difusa. As irradiâncias solares direta e difusa podem ser divididas em dois conjuntos: um conjunto sem e outro conjunto com uma correção para a irradiância circumsolar. Ver Tabela 3.

Outras informações do conjunto de dados climáticos (não relacionados à radiação solar) não necessitam de conversão, podendo ser utilizadas diretamente nas normas DEE relevantes. Estas são listadas na Tabela 4.

Tabela 2 — Resultados deste método; arquivo de dados climáticos

Descrição	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Módulo de destino pretendido ^b	Valor variável ^c
Identificador para arquivo de dados climáticos	-	(texto)	texto	M9-2 M2-3, M3-3, M4-3, M5-3, M6-3, M7-3, M9-3 M11-X	Não
Primeiro dia da série temporal (dia do ano)	$n_{day,start}$	-	1 a 366	Idêntico	Não



Descrição	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Módulo de destino pretendido ^b	Valor variável ^c
Último dia da série temporal (dia do ano)	$n_{\text{day;end}}$	-	1 a 366	Idêntico	Não
Dia da semana para o primeiro dia		-	Segunda a domingo (dia 1 a 7)	Idêntico	Não
Horário de verão na série temporal? ^d	-	-	Sim/Não	Idêntico	Não
Dia adicional do ano bissexto incluído?	-	-	Sim/Não	Idêntico	Não

a Alcance prático, informativo.
b Informativo.
c “Valor variável”: o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo: valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).
d Se Sim: informações adicionais devem ser incluídas.

Tabela 3 — Resultados deste método; séries temporais, variáveis calculadas

Descrição	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Módulo de destino pretendido ^b	Valor variável ^c
Dia do ano	n_{day}	—	1 a 366	M9–2 M2–3, M3–3, M4–3, M5–3, M6–3, M7–3, M9–3 M11-X	Sim
Hora local (contando o número da hora do dia)	n_{hour}	—	1 a 24	Idêntico	Sim
Irradiância solar difusa calculada	I_{dif}	W/m ²	0 a 1 300	Idêntico	Sim
Irradiância solar difusa calculada, excluindo a irradiância circunsolar	$I_{\text{dif;tot}}$	W/m ²	0 a 1 300	Idêntico	Sim
Irradiância solar direta calculada	I_{dir}	W/m ²	0 a 1 300	Idêntico	Sim
Irradiância solar direta calculada,	$I_{\text{dir;tot}}$	W/m ²	0 a 1 300	Idêntico	Sim

Descrição	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Módulo de destino pretendido ^b	Valor variável ^c
incluindo a irradiância circumsolar					
Irradiância solar hemisférica calculada	I_{tot}	W/m ²	0 a 1 300	Idêntico	Sim
Iluminância global calculada	E_V	lx	0 a 150 000	Idêntico	Sim
Irradiância solar hemisférica calculada, incluindo o efeito de sombreamento	$I_{tot;sh}$	W/m ²	0 a 1 300	Idêntico	Sim
Ângulo de altura solar, a partir da horizontal	α_{sol}	°	0 a 90		
Ângulo azimutal solar ^d	φ_{sol}	°	-180 a +180		

^a Alcance prático, informativo.

^b Informativo.

^c “Valor variável”: o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo: valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).

^d Convenção neste documento: ângulo a partir do Sul, em direção ao Leste é positivo, em direção ao Oeste é negativo.

NOTA Para a agregação por um período mais longo: ver 6.2.

Tabela 4 — Resultados deste método; séries temporais, outros dados climáticos

Descrição	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Módulo de destino pretendido ^b	Valor variável ^c
Temperatura de bulbo seco	θ_a	°C	-50 a 50	M9-2 M2-3, M3-3, M4-3, M5-3, M6-3, M7-3, M9-3 M11-X	Sim
Velocidade do vento a 10 m de altura	u_{10}	m/s	0 a 20	Idêntico	Sim
Direção do vento em relação ao Norte	D	°	0 a - 360	Idêntico	Sim



Descrição	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Módulo de destino pretendido ^b	Valor variável ^c
Irradiância de ondas longas da atmosfera em um plano horizontal	$G_{l,a}$	W/m ²	0 a 500	Idêntico	Sim
Teor de umidade ou razão de umidade	x	kg/kg	0 a 0,050	Idêntico	Sim
Humidade relativa	φ	%	0 a 100	Idêntico	Sim

^a Alcance prático, informativo.
^b Informativo.
^c “Valor variável”: o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo: valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).
NOTA Para a agregação por um período mais longo: ver 6.2.

6.2 Intervalos de tempo do cálculo

O método descrito na Seção 6 é adequado para intervalos de tempo horários.

Se forem necessários dados diários, mensais ou anuais, eles podem ser agregados a partir dos dados horários, considerando a média mensal ou os valores totais mensais e adicionado o subscrito correspondente ao período (d, m, an). O número de horas por mês pode ser agregado da mesma forma.

NOTA 1 Isto corresponde aos intervalos de tempo necessários para os cálculos de energia e a disponibilidade de dados de irradiância solar integrados de hora em hora. Se estiverem disponíveis dados em intervalos de tempo mais curtos, o método pode ser aplicado a estes intervalos.

NOTA 2 A ISO 15927-1^[1] especifica procedimentos para o cálculo e a apresentação de valores mensais totais ou de valores médios mensais para aqueles parâmetros de dados climáticos necessários para avaliar o desempenho energético total ou parcial dos edifícios. Porém, quando os dados horários estão disponíveis, como assumido neste documento, tais cálculos representam adições e médias simples.

Quando os valores horários de irradiância solar, I_x , em (W/m²), são somados ao longo de um mês, eles são divididos por 1 000 e expressos como a irradiação solar, H_x , em (kWh/m²), onde x é o espaço reservado para diferentes componentes de irradiância.

6.3 Dados de entrada

6.3.1 Generalidades

Os dados de entrada básicos são a radiação solar medida em uma estação meteorológica, as coordenadas da estação meteorológica e a orientação e o ângulo de inclinação da superfície de interesse, além da data e



hora para o cálculo. Para analisar o sombreamento, são necessários os dados de entrada referentes à altura da superfície, a altura do objeto de sombreamento e a distância deste objeto.

A Seção 8 fornece procedimentos para relatar a faixa de aplicação das séries temporais dos dados climáticos.

Os componentes da radiação solar medida, que são utilizados no cálculo, são a irradiância solar direta e a irradiância solar horizontal difusa. O cálculo básico da reflexão do solo é baseado na radiação global horizontal que, neste documento, é calculada a partir das radiâncias solares difusa e direta.

Quando somente a radiância solar global é medida na estação meteorológica, as radiâncias difusa e direta podem ser estimadas de acordo com 6.4.2.

A reflexão do solo no entorno do local da edificação é necessária como dado de entrada para o cálculo (ver 6.4.3).

6.3.2 Estação meteorológica e conjunto de dados climáticos

Os dados climáticos devem ser obtidos de acordo com os procedimentos da ISO 15927-4.

NOTA 1 Ver NOTA 2 em 6.2

NOTA 2 A ISO 15927-1^[1] também contém algumas conversões, como a conversão entre pressão de vapor, umidade relativa e razão de umidade, e a conversão entre a velocidade horária média de referência do vento e a velocidade média local do vento, que podem ser úteis para aplicações específicas descritas em outras normas DEE.

ISO 15927-4 fornece um método para construir um ano de referência de valores horários de dados meteorológicos apropriados, adequado para avaliar a energia média anual para aquecimento e refrigeração.

Outros anos de referência, que representam condições médias, podem ser construídos para fins específicos.

A instrumentação meteorológica e os métodos de observação não são abrangidos; estes são especificados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Os dados climáticos são medidos nas principais estações meteorológicas. A Tabela A.2 (modelo normativo) descreve qual estação meteorológica deve ser utilizada e quais séries temporais.

Para cada série temporal de dados climáticos, é necessário referenciar a documentação que forneça informações a respeito da seleção da série temporal e do intervalo de aplicação pretendido. Ver modelo na Tabela A.2.

EXEMPLO Energia de aquecimento e refrigeração (sensível, latente); ventilação e infiltração de ar; carga de projeto para aquecimento e refrigeração; conforto interno; coletores solares térmicos; turbinas eólicas. Onde aplicável: indicar se pretende representar um ano médio ou extremo.

O relatório também deve informar se os dados climáticos consistem em dados medidos, dados medidos pré-processados ou dados sintéticos, e o método utilizado para o pré-processamento ou construção dos dados sintéticos. Ver modelo na Tabela A.2.

Uma definição padrão informativa da estação meteorológica e da série temporal, normalmente fornecida na Tabela B.2 para cada norma DEE, não é aplicável porque esta escolha depende fortemente das condições

loais. Em vez disso, a Tabela B.2 contém os dados de um conjunto de dados climáticos amplamente utilizado internacionalmente para testes de validação, como os testes de validação e verificação descritos na ISO 52016-1.

6.3.3 Dados climáticos

A Tabela 5 contém os dados necessários para o cálculo da irradiância solar em uma superfície inclinada.

O método de cálculo compreende diferentes opções. Portanto, nem todos os dados da tabela 5 são necessários para cada um dos casos.

Tabela 5 — Dados climáticos necessários para o cálculo

Nome	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Origem ^b	Valor variável ^c	Referência
Dia do ano	n_{day}	—	1 a 366	Conjunto de dados climáticos	Sim	
Hora padrão (relógio) para a localização (contagem do número de horas no dia)	n_{hour}	—	1 a 24	Conjunto de dados climáticos	Sim	
Irradiância solar difusa em uma superfície horizontal	$G_{\text{sol};d}$	W/m ²	0 a 1000	Ver 6.4.2	Sim	
Irradiância solar direta normal (raio solar) (normal ao sol)	$G_{\text{sol};b}$		0 a 1000	Conjunto de dados climáticos	Sim	
Irradiância solar global	$G_{\text{sol};g}$		0 a 1000	Conjunto de dados climáticos	Sim	
Refletividade solar do solo	$\rho_{\text{sol};\text{grnd}}$	-	0 a 1	Ver 6.4.2.4	Sim	

^a Intervalo prático, informativo.
^b Por exemplo, módulo DEE, ou norma (por exemplo, do produto), ou (tipo, geometria) "local".
^c "Valor variável": o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo: valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).

Outras informações do conjunto de dados climáticos (não relacionados à radiação solar) não necessitam de conversão, podendo ser utilizadas diretamente nas normas DEE relevantes. Estes dados são listados na Tabela 4.

6.3.4 Características geométricas

Os dados geométricos para a superfície inclinada estão listados na Tabela 6.

Tabela 6 — Dados de entrada geométricos para a superfície inclinada

Nome	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Origem ^b	Valor variável ^c	Referência
Ângulo de inclinação da superfície inclinada na horizontal, medido voltado para cima	β_{ic}	°	0 a 180	Local	Não	
Ângulo de orientação da superfície inclinada, expresso como o ângulo geográfico de azimute da projeção horizontal da superfície inclinada normal ^d	γ_{ic}	°	-180 a +180	Local	Não	

^a Intervalo prático, informativo.
^b Por exemplo, módulo DEE, ou norma (por exemplo, do produto), ou (tipo, geometria) "local".
^c "Valor variável": o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo: valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).
^d Convenção neste documento: ângulo a partir do Sul, em direção ao Leste é positivo, em direção ao Oeste é negativo.

Se o efeito do sombreamento por objetos distantes for considerado no cálculo (ver 6.4.5), os dados de entrada necessários são os fornecidos na Tabela 7.

Tabela 7 — Dados de entrada geométricos; sombreamento

Nome	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Origem ^b	Valor variável ^c	Referência
Altura base da superfície sombreada, a partir do nível do solo	$H_{0;ic}$	m	≥ 0	Local	Não	
Altura da superfície sombreada, da base ao topo; se inclinado, usar projeção vertical ^d	$H_{1;ic}$	m	> 0	Local	Não	
Altura do obstáculo de sombreamento, a partir do nível do solo	$H_{sh;obst}$	m	≥ 0	Local	Não	
Distância horizontal entre a superfície sombreada e o objeto de sombreamento (obstáculo) voltado em direção ao sol, medida entre os pontos centrais	$L_{sh;obst}$	m	≥ 0	Local	Não	
A posição do objeto de sombreamento indicada pelo limite superior do ângulo de azimute geográfico ^e	$\gamma_{sh;obst;max}$	°		Local	Não	



Nome	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Origem ^b	Valor variável ^c	Referência
<p>a Intervalo prático, informativo.</p> <p>b Por exemplo, módulo DEE, ou norma (por exemplo, do produto), ou (tipo, geometria) "local".</p> <p>c "Valor variável": o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo: valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).</p> <p>d Se horizontal: escolher valores pequenos; por exemplo $H_1 = 0,01$ m.</p> <p>e Convenção neste documento: ângulo a partir do Sul, em direção ao Leste é positivo, em direção ao Oeste é negativo; assim: Norte- > Leste- > Sul-> Oeste- > Norte = -180 -> -90 -> 0 -> +90 -> +180 graus.</p>						

6.3.5 Constantes e dados físicos

Os valores para o parâmetro de claridade, ε , índice de claridade correspondente, Ind , e o coeficiente de brilho, f , são fornecidos na Tabela 8.

Tabela 8 — Valores do índice de claridade e coeficientes de brilho em função do parâmetro de claridade

ε	Índice, Ind	f_{11}	f_{12}	f_{13}	f_{21}	f_{22}	f_{23}
$\varepsilon < 1,065$	1 Encoberto	-0,008	0,588	-0,062	-0,060	0,072	-0,022
$1,065 \leq \varepsilon < 1,230$	2	0,130	0,683	-0,151	-0,019	0,066	-0,029
$1,230 \leq \varepsilon < 1,500$	3	0,330	0,487	-0,221	0,055	-0,064	-0,026
$1,500 \leq \varepsilon < 1,950$	4	0,568	0,187	-0,295	0,109	-0,152	-0,014
$1,950 \leq \varepsilon < 2,800$	5	0,873	-0,392	-0,362	0,226	-0,462	0,001
$2,800 \leq \varepsilon < 4,500$	6	1,132	-1,237	-0,412	0,288	-0,823	0,056
$4,500 \leq \varepsilon < 6,200$	7	1,060	-1,600	-0,359	0,264	-1,127	0,131
$\varepsilon \geq 6,200$	8 Limpo	0,678	-0,327	-0,250	0,156	-1,377	0,251

Outras constantes estão listadas na Tabela 9:

Tabela 9 — Outras constantes e dados físicos

Nome	Símbolo	Unidade	Valor
pi	π	-	3,14159265359
Constante solar	$G_{sol,c}$	W/m ²	1 370
Parâmetro constante para a fórmula de claridade	K	rad ⁻³	1,014
Eficiência luminosa global	K_V	lm/W	115 ^a
^a Este é o valor médio para diferentes tipos de céu.			

6.3.6 Dados de entrada do Anexo A (ver Anexo B)

O Anexo A contém o modelo normativo para as alternativas de referências, métodos e dados de entrada. Padrões informativos para as alternativas de referências, métodos e dados de entrada são fornecidos no Anexo B, respeitando o modelo do Anexo A.

Todas essas escolhas e dados de entrada são indispensáveis para a aplicação deste documento.

6.4 Procedimento de cálculo

O procedimento de cálculo consiste em várias etapas. A posição solar é determinada pelo ângulo de altura solar e azimute (que dependem da órbita solar).

NOTA Todos os ângulos estão em graus

6.4.1 Cálculo da trajetória solar

6.4.1.1 Declinação solar

A declinação solar, δ , em graus é determinada pelas seguintes Fórmulas (1) e (2):

$$\delta = 0,33281 - 22,984 \times \cos(R_{dc}) - 0,3499 \times \cos(2 \cdot R_{dc}) - 0,1398 \times \cos(3 \cdot R_{dc}) + 3,7872 \times \sin(R_{dc}) + 0,03205 \times \sin(2 \cdot R_{dc}) + 0,07187 \times \sin(3 \cdot R_{dc}) \quad (1)$$

com

$$R_{dc} = \frac{360}{365} \times n_{\text{day}} \quad (2)$$

onde

δ é a declinação solar, em graus;



R_{dc} é o desvio da órbita da Terra em função do dia, em graus;

n_{day} é o dia do ano, de 1 a 365 ou 366 (ano bissexto).

6.4.1.2 Equação do tempo

A equação do tempo, t_{eq} , calculada em função do dia resultante da trajetória elíptica da terra ao redor do sol, é determinada pelas Fórmulas (3) a (7):

$$\text{Se } n_{day} < 21: t_{eq} = 2,6 + 0,44 \times n_{day} \quad (3)$$

$$\text{Se } 21 \leq n_{day} < 136: t_{eq} = 5,2 + 9,0 \times \cos \left[(n_{day} - 43) \times 0,0357 \times \frac{180}{\pi} \right] \quad (4)$$

$$\text{Se } 136 \leq n_{day} < 241: t_{eq} = 1,4 - 5,0 \times \cos \left[(n_{day} - 135) \times 0,0449 \times \frac{180}{\pi} \right] \quad (5)$$

$$\text{Se } 241 \leq n_{day} < 336: t_{eq} = -6,3 - 10,0 \times \cos \left[(n_{day} - 306) \times 0,036 \times \frac{180}{\pi} \right] \quad (6)$$

$$\text{Se } n_{day} \geq 336: t_{eq} = 0,45 \times (n_{day} - 359) \quad (7)$$

onde

t_{eq} é a equação do tempo, em minutos;

n_{day} é o dia do ano, de 1 a 365 ou 366 (ano bissexto).

6.4.1.3 Correção da hora

A correção da hora, t_{shift} , resultante do fato de que a longitude e a trajetória do sol não são iguais, é determinada pela Fórmula (8):

$$t_{shift} = TZ - \frac{\lambda_w}{15} \quad (8)$$

onde

t_{shift} é a correção da hora, em h;

TZ é o fuso horário, a hora padrão (relógio) para a localização em comparação com o UTC (Tempo Universal Coordenado), de acordo com a Tabela A.2 (modelo; com padrões informativos na Tabela B.2), em h;



λ_w é a longitude da estação meteorológica, em graus, de acordo com a Tabela A.2 (modelo; com padrões informativos na Tabela B.2).

EXEMPLO 1 Greenwich Mean Time (GMT): TZ = 0

EXEMPLO 2 TZ = +2,0. $\lambda_w = 10$ graus (Leste) $t_{\text{shift}} = +2,0 - 10/15 = 1,33$ h. Significado: a hora do relógio (desconsiderando o possível horário de verão) é de 1,33h à frente da hora solar.

NOTA O horário de verão é desconsiderado no t_{shift} , que é independente do horário.

6.4.1.4 Hora solar

A hora solar, t_{sol} , é determinada em função da equação do tempo, da correção da hora e da hora do dia, por meio da Fórmula (9):

$$t_{\text{sol}} = n_{\text{hour}} - \frac{t_{\text{eq}}}{60} - t_{\text{shift}} \quad (9)$$

onde

t_{sol} é a hora solar, em h;

n_{hour} é a hora padrão (relógio) para a localização, a hora do dia, obtido a partir do conjunto de dados climáticos conforme escolhido na Tabela A.2 (modelo normativo), com padrões informativos na Tabela B.2, em h;

t_{eq} é a equação do tempo, de acordo com as Fórmulas (3) a (7), em minutos;

t_{shift} é a correção da hora, determinada por meio da Fórmula (8).

6.4.1.5 Ângulo da hora solar

O ângulo da hora solar, ω , no meio da hora atual em função da hora solar, t_{sol} , é:

$$\omega = \frac{180}{12} \cdot (12,5 - t_{\text{sol}}) \quad (10)$$

quando

$$\omega > +180, \omega = \omega - 360;$$

$$\omega < -180, \omega = \omega + 360;$$

onde

ω é o ângulo da hora solar, em graus;



t_{sol} é a hora solar, em h, calculada de acordo com a Fórmula (9).

NOTA 1 A limitação de ângulos que variam entre -180 e $+180$ graus é necessária para determinar quais objetos de sombreamento estão na direção do sol; veja também o cálculo do azimute solar em 6.4.1.7.

NOTA 2 Explicação de "12,5": os números da hora são na verdade seções de hora: a primeira hora de um dia vai de 0h a 1h. Assim, a posição média do sol para a radiação solar medida durante a seção (solar) de hora N, está no tempo (solar) = $(N - 0,5)$ h do dia (solar).

6.4.1.6 Altura solar e ângulo zenital

A altura solar, α_{sol} , é o ângulo formado entre o raio solar direto e a superfície horizontal, determinado no meio da hora atual em função do ângulo da hora solar, da declinação solar e da latitude

$$\alpha_{sol} = \arcsen[\sen(\delta) \cdot \sen(\varphi_w) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi_w) \cdot \cos(\omega)] \quad (11)$$

quando

$$\alpha_{sol} < 0,0001, \alpha_{sol} = 0$$

O ângulo zenital, θ_z , é calculado como o ângulo complementar:

$$\theta_z = 90 - \alpha_{sol} \quad (12)$$

onde

α_{sol} é a altura solar, ângulo formado entre o raio solar e a superfície horizontal, em graus;

θ_z é o ângulo zenital, formado entre o raio solar e o zênite, em graus;

δ é a declinação solar, de acordo com a Fórmula (1), em graus;

ω é o ângulo da hora solar da estação meteorológica, obtido por meio da Fórmula (10), em graus;

φ_w é a latitude da estação meteorológica, de acordo com a Tabela A.2 (modelo; com padrão informativo na Tabela B.2), em graus.

6.4.1.7 Azimute solar

As seguintes variáveis auxiliares, determinadas conforme as Fórmulas (13) a (15), são necessárias para calcular o azimute solar, φ_{sol} .

$$\sen(\varphi_{sol;aux1}) = \frac{\cos(\delta) \cdot \sen(180 - \omega)}{\cos\{\arcsen[\sen(\alpha_{sol})]\}} \quad (13)$$

$$\cos(\varphi_{sol;aux1}) = \frac{\cos(\varphi_w) \cdot \sen(\delta) + \sen(\varphi_w) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(180 - \omega)}{\cos\{\arcsen[\sen(\alpha_{sol})]\}} \quad (14)$$

$$\varphi_{sol;aux2} = \frac{\arcsen(\cos(\delta) \cdot \sen(180 - \omega))}{\cos\{\arcsen[\sen(\alpha_{sol})]\}} \quad (15)$$

onde

- $\varphi_{\text{sol};\text{aux1}}$ é um primeiro ângulo auxiliar para determinar o azimute solar, em graus;
- $\varphi_{\text{sol};\text{aux2}}$ é um segundo ângulo auxiliar para determinar o azimute solar, em graus;
- δ é a declinação solar, de acordo com a Fórmula (1), em graus;
- ω é o ângulo da hora solar, de acordo com a Fórmula (10), em graus;
- α_{sol} é o ângulo de altura solar, de acordo com a Fórmula (11), em graus;
- φ_w é a latitude da estação meteorológica, de acordo com a Tabela A.2 (modelo; com escolha informativa na Tabela B.2), em graus.

O azimute solar, φ_{sol} , é calculado a partir da Fórmula (16)

quando

$$\text{sen}(\varphi_{\text{sol};\text{aux1}}) \geq 0 \text{ e } \cos(\varphi_{\text{sol};\text{aux1}}) > 0 \quad \varphi_{\text{sol}} = +(180 - \varphi_{\text{sol};\text{aux2}})$$

$$\cos(\varphi_{\text{sol};\text{aux1}}) < 0 \quad (16) \quad \varphi_{\text{sol}} = \varphi_{\text{sol};\text{aux2}}$$

$$\text{caso contrário} \quad \varphi_{\text{sol}} = -(180 + \varphi_{\text{sol};\text{aux2}})$$

onde

- φ_{sol} é o ângulo de azimute solar (ângulo a partir do Sul, em direção ao Leste é positivo, em direção ao Oeste é negativo), em graus;
- $\text{sen}(\varphi_{\text{sol};\text{aux1}})$ é a primeira variável auxiliar, determinada pela Fórmula (13);
- $\cos(\varphi_{\text{sol};\text{aux1}})$ é a segunda variável auxiliar, determinada pela Fórmula (14);
- $\varphi_{\text{sol};\text{aux2}}$ é a terceira variável auxiliar, determinada pela Fórmula (15), em graus.

NOTA Os ângulos de azimute solar variam entre -180 e $+180$ graus; isso é necessário para determinar quais objetos de sombreamento estão na direção do sol.

6.4.1.8 Ângulo solar de incidência na superfície inclinada

O ângulo solar de incidência, $\theta_{\text{sol};\text{ic}}$, é o ângulo de incidência do raio solar em uma superfície inclinada, e é determinado em função do ângulo da hora solar e da declinação solar:

$$\theta_{\text{sol};\text{ic}} = \arccos \left[\frac{\text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\varphi_w) \cdot \cos(\beta_{\text{ic}}) - \text{sen}(\delta) \cdot \cos(\varphi_w) \cdot \text{sen}(\beta_{\text{ic}}) \cdot \cos(\gamma_{\text{ic}})}{\cos(\delta) \cdot \cos(\varphi_w) \cdot \cos(\beta_{\text{ic}}) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\varphi_w) \cdot \text{sen}(\beta_{\text{ic}}) \cdot \cos(\gamma_{\text{ic}}) \cdot \cos(\omega) + \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\beta_{\text{ic}}) \cdot \text{sen}(\gamma_{\text{ic}}) \cdot \text{sen}(\omega)} \right] \quad (17)$$

onde

- $\theta_{\text{sol;ic}}$ é o ângulo solar de incidência na superfície inclinada, em graus;
- β_{ic} é o ângulo de inclinação da superfície inclinada, obtido de acordo com a Tabela 6, em graus;
- γ_{ic} é a orientação da superfície inclinada, obtida de acordo com a Tabela 6, em graus;
- δ é a declinação solar, de acordo com a Fórmula (1), em graus;
- ω é o ângulo da hora solar da estação meteorológica, de acordo com a Fórmula (10), em graus;
- φ_w é a latitude da estação meteorológica, de acordo com a Tabela A.2 (modelo; com escolha informativa na Tabela B.2), em graus.

6.4.1.9 Azimute e ângulo de inclinação entre o sol e a superfície inclinada

Os ângulos azimutal e de inclinação entre o sol e a superfície inclinada são dados necessários de entrada para o cálculo da irradiância em caso de sombreamento solar por objetos.

O ângulo azimutal entre o sol e a superfície inclinada, $\gamma_{\text{sol;ic}}$, é calculado pela Fórmula (18)

quando

$$(\omega - \gamma_{\text{ic}}) > +180 \quad \gamma_{\text{sol;ic}} = (-360 + \omega - \gamma_{\text{ic}})$$

$$(\omega - \gamma_{\text{ic}}) < -180 \quad \gamma_{\text{sol;ic}} = (+360 + \omega - \gamma_{\text{ic}}) \quad (18)$$

caso contrário $\gamma_{\text{sol;ic}} = (\omega - \gamma_{\text{ic}})$

O ângulo de inclinação entre o sol e a superfície inclinada, $\beta_{\text{sol;ic}}$, é calculado pela Fórmula (19)

quando

$$(\beta_{\text{ic}} - \theta_z) > +180 \quad \beta_{\text{sol;ic}} = (-360 + \beta_{\text{ic}} - \theta_z)$$

$$(\beta_{\text{ic}} - \theta_z) < -180 \quad \beta_{\text{sol;ic}} = (+360 + \beta_{\text{ic}} - \theta_z)$$

caso contrário $\beta_{\text{sol;ic}} = (\beta_{\text{ic}} - \theta_z)$

onde

- $\gamma_{\text{sol;ic}}$ é o ângulo azimutal entre o sol e a superfície inclinada, em graus;
- $\beta_{\text{sol;ic}}$ é o ângulo de inclinação entre o sol e a superfície inclinada, em graus;
- ω é o ângulo da hora solar da estação meteorológica, de acordo com a Fórmula (10), em graus;

- γ_{ic} é a orientação da superfície inclinada, obtida de acordo com a Tabela 6, em graus;
- β_{ic} é o ângulo de inclinação da superfície inclinada, obtido de acordo com a Tabela 6, em graus;
- θ_z é o ângulo zenital formado entre o raio solar e o zênite, de acordo com a Fórmula (12), em graus.

6.4.1.10 Massa de ar

A massa de ar, m , expressa a distância que o raio solar percorre pela atmosfera terrestre. A massa de ar é determinada em função do seno do ângulo de altura solar:

Se $\alpha_{sol} \geq 10$, então

$$m = \frac{1}{\text{sen}(\alpha_{sol})} \quad (20)$$

Se $\alpha_{sol} < 10$, então

$$m = \frac{1}{\text{sen}(\alpha_{sol}) + 0,15 \times (\alpha_{sol} + 3,885)^{-1,253}} \quad (21)$$

onde

- m é a massa de ar, adimensional;
- α_{sol} é o ângulo de altura solar, de acordo com a Fórmula (11), em graus.

6.4.2 Divisão entre irradiância solar direta e difusa

Se a irradiância solar direta, $G_{sol;b}$, estiver disponível no conjunto de dados climáticos, conforme escolhido na Tabela A.2 (modelo normativo), com padrões informativos na Tabela B.2, e se houver escolha entre a incidência horizontal ou incidência normal, esta última deverá ser a utilizada.

Se apenas a irradiância solar direta no plano horizontal estiver disponível no conjunto de dados climáticos, ela deve ser convertida em incidência normal dividindo o valor pelo seno de altura solar, $\text{sen}(\alpha_{sol})$.

NOTA 1 Se o ângulo de altura solar estiver baixo, esta conversão é muito sensível para pequenos erros no cálculo de altura solar. Estes pequenos erros são viáveis, dada a sensibilidade nos parâmetros necessários para calcular o ângulo solar (ver 6.4.1), e dada a refração atmosférica da radiação solar perto do solo. Portanto, o valor em incidência normal é preferido.

Se a irradiância solar difusa em um plano horizontal não estiver disponível no conjunto de dados climáticos, ela é calculada como a diferença de irradiância global e direta (raio solar), corrigida para a altura solar:

$$G_{sol;d} = G_{sol;g} - G_{sol;b} \cdot \text{sen}(\alpha_{sol}) \quad (22)$$



onde

$G_{\text{sol;d}}$ é a irradiância solar difusa em um plano horizontal, em W/m²;

$G_{\text{sol;g}}$ é a irradiância global, obtida a partir do conjunto de dados climáticos, conforme escolhido na Tabela A.2 (modelo normativo), com padrões informativos na Tabela B.2, em W/m²;

α_{sol} é o ângulo de altura solar, de acordo com a Fórmula (11), em graus.

Se a irradiância solar direta (raio solar) não estiver disponível no conjunto de dados climáticos, conforme escolhido na Tabela A.2 (modelo normativo), com padrões informativos na Tabela B.2, um dos dois métodos seguintes deve ser escolhido.

NOTA 2 O método 1 provou ser o mais eficaz em climas de latitude média; outros modelos podem ser mais adequados para os climas tropicais. Consulte a ISO/TR 52010-2 para obter mais informações.

Método 1, Método padrão.

A irradiância global, medida em um plano horizontal, é dividida nas frações direta e difusa aproximadas, calculando a fração difusa de acordo com a seguinte correlação empírica, com índice de claridade:

$$\begin{aligned} \text{quando } k_T \leq 0,22: \quad & \frac{G_{\text{sol;d}}}{G_{\text{sol;g}}} = 1,0 - 0,09 \times k_T \\ \text{quando } 0,22 < k_T \leq 0,80: \quad & \frac{G_{\text{sol;d}}}{G_{\text{sol;g}}} = 0,9511 - 0,1604 \times k_T + 4,388 \times k_T^2 - 16,638 \times k_T^3 + 12,336 \times k_T^4 \\ \text{quando } k_T > 0,80: \quad & \frac{G_{\text{sol;d}}}{G_{\text{sol;g}}} = 0,165 \end{aligned} \tag{23}$$

onde

$G_{\text{sol;d}}$ é a irradiância solar difusa em um plano horizontal, em W/m²;

k_T é o índice de claridade adimensional da atmosfera relacionado à irradiância global extraterrestre, segundo a Fórmula (22);

$G_{\text{sol;g}}$ é a irradiância global, obtida a partir do conjunto de dados climáticos, conforme escolhido na Tabela A.2 (modelo normativo), com padrões informativos na Tabela B.2, em W/m².

O índice de claridade da atmosfera, k_T , é a razão entre a irradiância global extraterrestre no solo e a irradiância global medida:

$$k_T = \frac{G_{\text{sol;g}}}{I_{\text{ext}}} \tag{24}$$

A irradiância extraterrestre é calculada de acordo com a Fórmula (20).

A irradiância direta normal (raio solar) é calculada como a diferença de irradiância global e difusa (horizontal), corrigida para a altura solar:

$$G_{\text{sol;b}} = \frac{G_{\text{sol;g}} - G_{\text{sol;d}}}{\text{sen}(\alpha_{\text{sol}})} \quad (25)$$

onde

$G_{\text{sol;b}}$ é a irradiância solar direta normal (raio solar), em W/m²;

α_{sol} é o ângulo de altura solar de acordo com a Fórmula (11), em graus.

NOTA 3 Se o ângulo de altura solar estiver baixo, a conversão da irradiância direta horizontal para a direta normal é muito sensível para pequenos erros no cálculo de altura solar (ver NOTA 1).

Método 2, Outro método.

Qualquer outro método

A Tabela A.3 fornece o modelo para a escolha entre o método 1 e o método 2, com um padrão informativo na Tabela B.3.

6.4.3 Refletividade solar do solo

A refletividade solar do solo (Albedo), $\rho_{\text{sol;grnd}}$, depende das condições da superfície.

A refletividade solar pode variar de acordo com as propriedades superficiais, mas também com as condições climáticas, como uma cobertura de neve.

As opções para avaliar a refletividade solar do solo estão previstas nas Tabelas A.4, A.5 e A.6 (modelo normativo), com padrões informativos nas Tabelas B.4, B.5 e B.6.

6.4.4 Cálculo da irradiância solar total em determinada orientação e ângulo de inclinação

6.4.4.1 Irradiância direta

A irradiância direta na superfície inclinada, I_{dir} , é determinada em função do cosseno do ângulo solar de incidência e da irradiância solar direta normal (raio solar):

NOTA A irradiância solar direta normal é definida como aquela que incide sobre uma superfície normal ao raio solar, o que não é o mesmo que radiação direta horizontal.

$$I_{\text{dir}} = \max\left[0; G_{\text{sol;b}} \cdot \cos(\theta_{\text{sol;ic}})\right] \quad (26)$$

onde

I_{dir} é a irradiância direta na superfície inclinada, em W/m²;

$G_{\text{sol;b}}$ é a irradiância solar direta normal, obtida segundo a subseção 6.4.2, em W/m².

$\theta_{\text{sol;ic}}$ é o ângulo solar de incidência na superfície inclinada, de acordo com a Fórmula (17), em graus.

6.4.4.2 Radiação extraterrestre

A radiação extraterrestre, I_{ext} , que consiste na irradiância normal fora da atmosfera em função do dia, é determinada pela Fórmula (20):

$$I_{\text{ext}} = \theta_{\text{sol;ic}} \cdot \left[1 + 0,033 \times \cos\left(\frac{360}{365} \times n_{\text{day}}\right) \right] \quad (27)$$

onde

I_{ext} é a radiação extraterrestre, em W/m²;

n_{day} é o número referente à contagem do dia em um ano, obtido a partir do conjunto de dados climáticos, conforme escolhido na Tabela A.2 (modelo normativo), com padrão informativo na Tabela B.2;

$\theta_{\text{sol;ic}}$ é o ângulo solar de incidência na superfície inclinada, de acordo com a Fórmula (17), em graus.

6.4.4.3 Irradiância difusa

A parte difusa da irradiância na superfície (sem reflexo do solo), I_{dif} , é determinada em função de um número de parâmetros de acordo com as Fórmulas (28) a (33), ver Figura 1. Os parâmetros adimensionais a e b :

$$a = \max[0; \cos(\theta_{\text{sol}})] \quad (28)$$

$$b = \max\left[\cos(85^\circ), \cos(\theta_z)\right] \quad (29)$$

onde

a, b são parâmetros adimensionais;

θ_z é o ângulo zenital, de acordo com a Fórmula (12), em graus;

α_{sol} é o ângulo de altura solar, de acordo com a Fórmula (11), em graus;

$\theta_{\text{sol;ic}}$ é o ângulo de incidência na superfície inclinada, de acordo com a Fórmula (17), em graus.

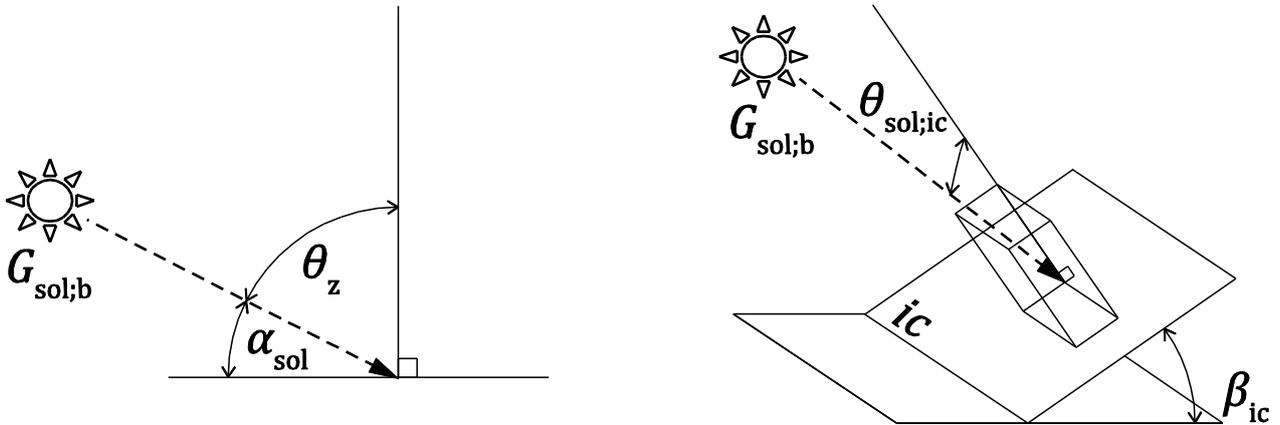


Figura 1 - Radiação de raio solar em uma superfície inclinada

O parâmetro de claridade, adimensional, ε , é:

$$\varepsilon = \frac{\left[\frac{G_{\text{sol;d}} + G_{\text{sol;b}}}{G_{\text{sol;d}}} + K \cdot \left(\frac{\pi}{180} \cdot \alpha_{\text{sol}} \right)^3 \right]}{1 + K \cdot \left(\frac{\pi}{180} \cdot \alpha_{\text{sol}} \right)^3} \quad (30)$$

onde

ε é o parâmetro adimensional de claridade, condições anisotrópicas do céu (modelo de Perez);

$G_{\text{sol;d}}$ é a irradiância horizontal difusa, obtida segundo 6.4.2, em W/m^2 ;

$G_{\text{sol;b}}$ é a irradiância solar direta, obtida segundo 6.4.2, em W/m^2 ;

α_{sol} é o ângulo de altura solar, de acordo com a Fórmula (11), em graus;

K é uma constante, obtida de acordo com a Tabela 9, em rad^{-3} .

com

se, $G_{\text{sol;d}} = 0$, $\varepsilon = 999$

O coeficiente de brilho circumsolar, F_1 , e coeficiente de brilho horizontal, F_2 :

A partir da Tabela 8, pode-se obter os coeficientes de brilho, $f_{i,j}$, que correspondem ao valor de ε calculado conforme a Fórmula (30).

O coeficiente de brilho circumsolar, F_1 , e o coeficiente de brilho horizontal, F_2 , são obtidos pelas Fórmulas (31) a (33):

$$\Delta = m \cdot \frac{G_{sol;d}}{I_{ext}} \quad (31)$$

$$F_1 = \max \left[0; f_{11}(\varepsilon) + f_{12}(\varepsilon) \cdot \Delta + f_{13}(\varepsilon) \cdot \left(\frac{\pi \theta_z}{180} \right) \right] \quad (32)$$

$$F_2 = f_{21}(\varepsilon) + f_{22}(\varepsilon) \cdot \Delta + f_{23}(\varepsilon) \cdot \left(\frac{\pi \theta_z}{180} \right) \quad (33)$$

com esses parâmetros, a irradiância difusa é calculada por meio da Fórmula (34):

$$I_{dif} = G_{sol;d} \cdot \left\{ (1 - F_1) \cdot \frac{[1 + \cos(\beta_{ic})]}{2} + F_1 \cdot \frac{a}{b} + F_2 \cdot \text{sen}(\beta_{ic}) \right\} \quad (34)$$

onde

- Δ é o parâmetro de brilho do céu, adimensional;
- m é a massa de ar, adimensional, de acordo com as Fórmulas (20) e (21);
- $G_{sol;d}$ é a irradiância horizontal difusa, obtida de acordo com 6.4.2, em W/m^2 ;
- I_{ext} é a irradiância solar extraterrestre, de acordo com a Fórmula (27), em W/m^2 ;
- F_1 é o coeficiente de brilho circumsolar;
- F_2 é o coeficiente de brilho horizontal;
- ε é o parâmetro adimensional de claridade em condições anisotrópicas do céu (modelo de Perez), de acordo com a Fórmula (30);
- f_{ij} é o coeficiente de brilho, condições anisotrópicas de céu (modelo de Perez), em função de ε ;
- β_{ic} é o ângulo de inclinação da superfície inclinada, de acordo com a Tabela 6, em graus;
- θ_z é o ângulo zenital, de acordo com a Fórmula (12), em graus;
- a é um parâmetro adimensional, de acordo com a Fórmula (28).
- b é um parâmetro adimensional, de acordo com a Fórmula (29);
- I_{dif} é a irradiância difusa, em W/m^2 .

6.4.4.4 Irradiância solar difusa devido à reflexão do solo

A contribuição da reflexão do solo para a irradiância solar na superfície inclinada, $I_{dif,grnd}$, é determinada em

função da irradiância global horizontal, que, neste caso, é calculada a partir da altura solar, irradiância solar difusa, irradiância do raio solar e refletividade solar do solo:

$$I_{dif;grnd} = [G_{sol;d} + G_{sol;b} \cdot \text{sen}(\alpha_{sol})] \cdot \rho_{sol;grnd} \cdot \frac{[1 - \cos(\beta_{ic})]}{2} \quad (35)$$

onde

$I_{dif;grnd}$ é a irradiância solar difusa calculada na superfície inclinada devido à reflexão do solo, em W/m^2 ;

$G_{sol;d}$ é a irradiância solar difusa em uma superfície horizontal, obtida de acordo com 6.4.2, em W/m^2 ;

$G_{sol;b}$ é a irradiância solar direta normal (raio solar), obtida de acordo com 6.4.2, em W/m^2 ;

α_{sol} é o ângulo de altura solar, de acordo com a Fórmula (11), em graus;

β_{ic} é o ângulo de inclinação da superfície, de acordo com a Tabela 6, em graus;

$\rho_{sol;grnd}$ é a refletividade solar do solo, obtida de acordo 6.4.3.

6.4.4.5 Irradiância circunsolar

A irradiância circunsolar, I_{circum} , é calculada a partir da irradiância difusa:

$$I_{circum} = G_{sol;d} \cdot F_1 \cdot \frac{a}{b} \quad (36)$$

onde

I_{circum} é a irradiância circunsolar, em W/m^2 ;

$G_{sol;d}$ é a radiação difusa em um plano horizontal, obtida de acordo com 6.4.2, em W/m^2 ;

F_1 é o coeficiente de brilho circunsolar, de acordo com a Fórmula (32);

a, b são coeficientes calculados de acordo com as Fórmulas (28) e (29).

6.4.4.6 Irradiância solar direta total calculada

A irradiância direta total na superfície inclinada, incluindo a irradiância circunsolar, $I_{dir;tot}$, é determinada a partir da irradiância direta somada a parcela circunsolar da irradiância difusa:

$$I_{\text{dir;tot}} = I_{\text{dir}} + I_{\text{circum}} \quad (37)$$

onde

$I_{\text{dir;tot}}$ é a irradiância direta total na superfície inclinada, em W/m^2 ;

I_{dir} é a irradiância direta na superfície inclinada, de acordo com a Fórmula (26), em W/m^2 ;

I_{circum} é a irradiância circumsolar, de acordo com a Fórmula (36), em W/m^2 .

6.4.4.7 Irradiância solar difusa total calculada

A irradiância difusa total na superfície inclinada, excluindo a circumsolar, $I_{\text{dif,tot}}$, e incluindo a irradiância refletida no solo, é a irradiância difusa, subtraindo a parcela circumsolar, e somando a irradiância difusa pela reflexão do solo:

$$I_{\text{dif,tot}} = I_{\text{dif}} - I_{\text{circum}} + I_{\text{dif;grnd}} \quad (38)$$

onde

$I_{\text{dif,tot}}$ é a irradiância difusa total na superfície inclinada, em W/m^2 ;

I_{dif} é a irradiância difusa na superfície inclinada, de acordo com a Fórmula (34), em W/m^2 ;

I_{circum} é a irradiância circumsolar, de acordo com a Fórmula (36), em W/m^2 ;

$I_{\text{dif;grnd}}$ é a irradiância na superfície inclinada devido à reflexão do solo, de acordo com a Fórmula (35), em W/m^2 .

6.4.4.8 Irradiância solar total calculada

A irradiância solar hemisférica, ou solar total, na superfície inclinada sem o efeito de sombreamento, I_{tot} , é a soma da irradiância solar difusa total calculada e a irradiância solar direta total:

$$I_{\text{tot}} = I_{\text{dir;tot}} + I_{\text{dif,tot}} \quad (39)$$

onde

I_{tot} é a irradiância solar hemisférica, ou solar total, na superfície inclinada, em W/m^2 ;

$I_{\text{dir;tot}}$ é a irradiância solar direta total, de acordo Fórmula (37), em W/m^2 ;



$I_{\text{dif,tot}}$ é a irradiância solar difusa total, de acordo com a Fórmula (38), em W/m^2 .

6.4.5 Cálculo do sombreamento por objetos externos

6.4.5.1 Generalidades

Objetos no ambiente podem bloquear parte da irradiância solar em uma superfície (por exemplo, colinas, árvores, outras edificações).

O mesmo, ou outros objetos, também podem refletir a radiação solar e, conseqüentemente, levar a uma maior irradiância.

NOTA 1 Por exemplo, no hemisfério norte, uma superfície altamente refletora (por exemplo, edifícios envidraçados adjacentes) em frente a fachada voltada para o Norte do edifício avaliado.

A fim de evitar que dados de refletividade solar específicos para estes objetos precisem ser coletados, é opcional, como forma de simplificação, assumir que:

- A radiação direta (incluindo a irradiância circunsolar) é parcialmente bloqueada, se o objeto estiver entre o sol e a superfície;
- A irradiância difusa (incluindo a irradiância devido a reflexão do solo) permanece inalterada.

NOTA 2 Isto é fisicamente equivalente à situação em que a radiação refletida (e/ou transmitida) pelos objetos no ambiente é igual à radiação difusa bloqueada por esses objetos.

Como diferentes objetos de sombreamento na mesma direção podem se sobrepor, erros graves podem ser introduzidos devido à consideração duplicada, caso o efeito de sombreamento dos objetos seja calculado separadamente, calculando primeiro a irradiância para um conjunto de objetos de sombreamento (por exemplo, os objetos distantes) e depois utilizando os resultados como dados de entrada para calcular o efeito de outro conjunto de objetos de sombreamento (por exemplo, objetos próximos ou no local).

Portanto, recomenda-se que o cálculo do sombreamento seja realizado dentro de um padrão de aplicação, onde a posição, localização e todo o entorno da superfície irradiada são conhecidos.

Isto leva às seguintes opções:

Opção 1:

Não calcular o sombreamento para a irradiância calculada por meio deste documento, de modo a evitar considerações duplicadas.

Opção 2:

O coeficiente de sombreamento por objetos distantes é calculado conforme estabelecido por um dos dois métodos a seguir. A escolha entre a opção 1 e a opção 2 e, no caso da opção 2, entre os métodos 1 e 2, é indicada na Tabela A.7 (modelo), com definições padrão informativas fornecidas na Tabela B.7.

- Método 1, Método simplificado (sombreamento da radiação direta), ver 6.4.5.2.

- Método 2, Método detalhado (sombreamento de radiação direta e difusa), ver 6.4.5.3.

A ISO 52016-1 contém procedimentos de cálculo de sombreamento detalhados para o sombreamento em elementos da construção, incluindo o sombreamento de elementos horizontais. O procedimento de cálculo da ISO 52016-1 também pode ser aplicado no cálculo do efeito de sombreamento sobre componentes dos sistemas que recebam radiação solar, como os coletores solares e os painéis fotovoltaicos.

6.4.5.2 Método 1, Método simplificado (sombreamento da radiação direta)

6.4.5.2.1 Generalidades

A irradiância solar total na superfície inclinada, $I_{\text{tot;sh}}$, é a soma da irradiância solar difusa total calculada e a irradiância solar direta total, com a irradiância solar direta total corrigida para o sombreamento de objetos distantes por meio do coeficiente de sombreamento, dessa forma, incluindo o efeito de sombreamento:

$$I_{\text{tot;sh}} = F_{\text{dir}} \cdot I_{\text{dir;tot}} + I_{\text{dif;tot}} \quad (40)$$

onde

$I_{\text{tot;sh}}$ é a irradiância solar total na superfície inclinada, incluindo o efeito de sombreamento, em W/m^2 ;

F_{dir} é o coeficiente de sombreamento para a irradiância direta, determinado de acordo com 6.4.5.2.2;

$I_{\text{dir;tot}}$ é a irradiância solar direta total, de acordo com a Fórmula (37), em W/m^2 ;

$I_{\text{dif;tot}}$ é a irradiância solar difusa total, de acordo com a Fórmula (38), em W/m^2 .

6.4.5.2.2 Cálculo do coeficiente de sombreamento por objetos distantes

O coeficiente de sombreamento direto, F_{dir} , é determinado pelo ângulo de altura solar e a geometria da superfície sombreada e do objeto de sombreamento, conforme a Figura 2.

Para a especificação dos objetos de sombreamento, a linha do horizonte é dividida em um número de segmentos, $n_{\text{sh;segm}}$, cada um caracterizado pelo limite superior do ângulo azimutal, $\gamma_{\text{sh;obst;max}}$, utilizando a convenção neste documento: ângulo a partir do Sul, positivo para o Leste, negativo para o Oeste.

NOTA 1 Norte -> Leste -> Sul -> Oeste -> Norte = -180 -> -90 -> 0 -> +90 -> +180 graus.

A definição do número de segmentos, e se os tamanhos dos segmentos são fixos ou variáveis, é fornecida na Tabela A.8 (modelo), com a definição padrão informativa fornecida na Tabela B.9.

Para o objeto de sombreamento no segmento que corresponde ao azimute do sol, φ_{sol} , determinado em 6.4.1.7, o coeficiente de sombreamento direto é determinado por meio da Fórmula (41):

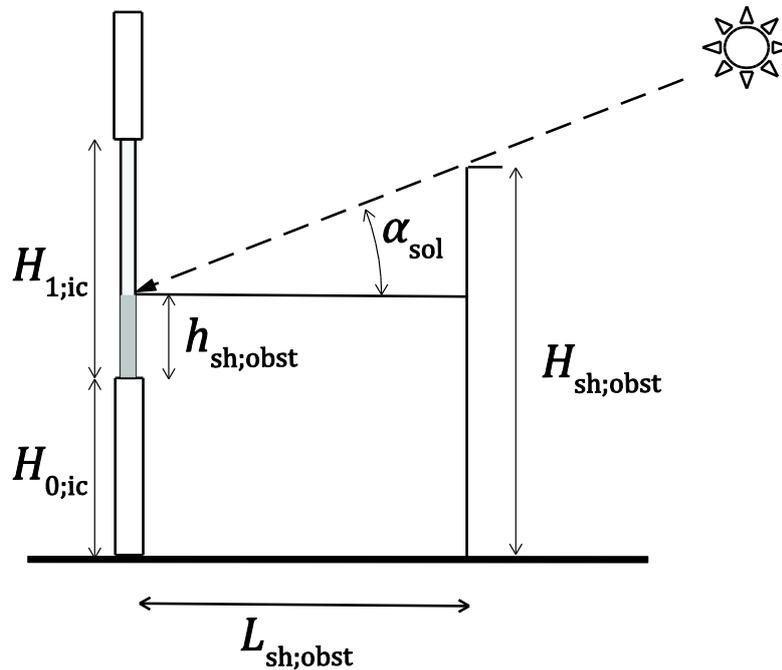


Figura 2 — Sombreamento do raio solar direto devido a objetos de sombreamento distantes (Seção transversal vertical)

$$F_{\text{dir}} = \max \left[0; \frac{H_{1;ic} - h_{\text{sh;obst}}}{H_{1;ic}} \right] \quad (41)$$

com

$$h_{\text{sh;obst}} = \max \left[0, H_{\text{sh;obst}} - H_{0;ic} - L_{\text{sh;obst}} \cdot \tan(\alpha_{\text{sol}}) \right] \quad (42)$$

onde

F_{dir} é o coeficiente adimensional de sombreamento direto da superfície sombreada;

$H_{0;ic}$ é a altura da base da superfície sombreada, a partir do nível do solo, obtida de acordo com a Tabela 7, em m;

$H_{1;ic}$ é a altura da superfície sombreada, da base ao topo (se inclinada: projeção vertical), obtida de acordo com a Tabela 7, em m;

- $h_{sh;obst}$ é a altura da sombra na superfície sombreada; se inclinada: projeção vertical, em m;
- $H_{sh;obst}$ é a altura do obstáculo de sombreamento, a partir do nível do solo, obtido de acordo com a Tabela 7, em m;
- $L_{sh;obst}$ é a distância horizontal do objeto de sombreamento na direção dos raios solares, de acordo com a Tabela 7, em m;
- α_{sol} é o ângulo de altura solar, de acordo com a Fórmula (11), em graus.

Se a seção transversal vertical do objeto sombreado não for constante, a seção transversal vertical deve ser avaliada no meio do objeto.

Os procedimentos de cálculo, nos quais se aplica o cálculo do sombreamento por objetos externos, podem conter regras para a subdivisão do objeto sombreado.

NOTA 2 Por exemplo: por janela ou por fachada ou ...; por módulo fotovoltaico, ou por arranjo de módulos ou ...; etc.

6.4.5.3 Método 2: Método detalhado (sombreamento da radiação direta e difusa)

Neste método, o sombreamento por radiação solar difusa também é considerado.

O coeficiente de sombreamento difuso, F_{dif} , é determinado utilizando os procedimentos detalhados de cálculo da ISO 52016-1:2017, F.2. Nesse Anexo, os obstáculos encontram-se no edifício ou nas proximidades. Estes são chamados de “objetos remotos”. O método, entretanto, é o mesmo no caso de objetos externos.

Para este método, os fatores de visão do céu devem ser calculados. Isto pode ser simplificado a partir da divisão da linha do horizonte em vários de segmentos e do cálculo dos fatores de visão do céu para cada segmento separadamente, assumindo uma altura igual da linha do horizonte sobre o segmento.

6.4.6 Cálculo da iluminância

Para a distribuição da luminância do céu e do solo, a irradiância é convertida em iluminância por um dos dois métodos a seguir:

Método 1, Método padrão: Multiplicação com a eficácia luminosa global. Valor sem considerar o sombreamento solar:

$$E_v = K_v \cdot I_{\text{tot}} \quad (43)$$

onde

E_v é a iluminância global de uma superfície, em lx;

K_v é a eficácia luminosa global, de acordo com a Tabela 9, em lm/W;

I_{tot} é a irradiância solar hemisférica, de acordo com a Fórmula (39), em W/m^2 .

Método 2, Método alternativo.

A escolha entre o método 1 e o método 2 é indicada na Tabela A.9 (modelo), com uma definição padrão informativa fornecida na Tabela B.9.

NOTA Exemplos de métodos mais detalhados são fornecidos na ISO/TR 52010-2^[6].

7 Controle de qualidade

As seguintes verificações podem ser realizadas para aumentar a confiança na implementação correta dos procedimentos de cálculo deste documento:

- Verifique, para cada resultado, se os valores estão dentro de uma faixa esperada. Valores insignificantes e incidentais de irradiação solar negativa são permitidos, especialmente em baixos ângulos solares.

NOTA Na posição muito baixa do sol (por exemplo, poucos graus acima do horizonte), a conversão da irradiância solar direta normal em irradiância no plano horizontal (multiplicação pelo seno da altura solar) é extremamente sensível para o cálculo correto (e a medição correta) da hora solar. Alguns minutos de diferença já podem ter um efeito significativo. Além disso, o tamanho aparente do disco solar pode influenciar. Isto pode até resultar em pequenos resultados negativos da irradiância difusa. Os efeitos de quando a série temporal é aplicada em um componente da edificação ou do sistema são normalmente insignificantes.

- Calcule a irradiância difusa horária e total em um plano horizontal. Estas devem corresponder aos valores horários medidos das mesmas propriedades utilizadas como dados de entrada (se ambas estiverem disponíveis). Uma correspondência perfeita não é esperada, devido ao uso de diversos coeficientes de correlação empíricos (modelo de Perez).
- Reproduza o exemplo de cálculo do ano completo da série temporal do relatório técnico.



8 Verificação de conformidade

Em 6.3.2 são fornecidos os procedimentos para referenciar a documentação, de forma a disponibilizar informações sobre o histórico e a construção das séries temporais de dados climáticos e a faixa de aplicação.



Anexo A (normativo)

Ficha de seleção dos dados de entrada e do método — Modelo

A.1 Generalidades

O modelo no Anexo A deste documento deve ser usado para especificar as escolhas entre os métodos, os dados de entrada necessários e as referências a outros documentos.

NOTA 1 Seguir este modelo não é suficiente para garantir a consistência dos dados.

NOTE 2 Padrões informativos são fornecidos no Anexo B. Valores e definições alternativas podem ser impostas por regulamentos nacionais/regionais. Se os valores e as definições padrão do Anexo B não forem adotadas devido aos regulamentos nacionais/regionais, políticas ou tradições nacionais, é esperado que:

- as autoridades nacionais ou regionais elaborem fichas de dados contendo os valores e as definições nacionais ou regionais, de acordo com o modelo do Anexo A; ou
- por padrão, o órgão de normalização nacional irá adicionar ou incluir um anexo nacional (Anexo N-A) a este documento, de acordo com o modelo do Anexo A, atribuindo valores e definições nacionais ou regionais de acordo com seus documentos legais.

NOTA 3 O modelo do Anexo A é aplicável à diferentes finalidades (por exemplo, o projeto de um novo edifício, a certificação de um novo edifício, a renovação de um edifício existente e a certificação de um edifício existente) e a diferentes tipos de edificações (por exemplo, edifícios pequenos ou simples e edifícios grandes ou complexos). Uma distinção entre os valores e as definições para diferentes aplicações ou tipos de edificações poderia ser feita:

- adicionando colunas ou linhas (uma para cada aplicação), se o modelo permitir;
- incluindo mais de uma versão de uma tabela (uma para cada aplicação), numeradas consecutivamente como a, b, c, ... Por exemplo: Tabela N-A.3a, Tabela N-A.3b;
- desenvolvendo diferentes fichas de dados nacionais/regionais para a mesma norma. No caso de um anexo nacional à norma, estes serão numerados consecutivamente (Anexo N-A, Anexo N-B, Anexo NC, ...).

NOTA 4 Na Seção “Introdução” de uma ficha de dados nacionais/regionais, podem ser adicionadas informações, por exemplo, sobre os regulamentos nacionais/regionais aplicáveis.

NOTA 5 Para certos valores de entrada a serem obtidos pelo usuário, uma folha de dados seguindo o modelo do Anexo A poderia conter uma referência aos procedimentos nacionais para avaliar os dados de entrada necessários.



Por exemplo, referência a um protocolo de avaliação nacional compreendendo árvores de decisão, tabelas e pré-cálculos.

Os campos sombreados nas tabelas fazem parte do modelo e, conseqüentemente, não devem ser preenchidos com dados de entrada.

A.2 Referências

As referências, identificadas pelo código do módulo DEE, são fornecidas na Tabela A.2 (modelo).

Tabela A.1 — Referências

Referência	Documento de referência	
	Número	Título
Mx-y ^a

^a Neste documento, não há alternativas de referências a outras normas DEE. A tabela é utilizada para manter a uniformidade entre todas as normas DEE.

A.3 Dados de entrada climáticos

Tabela A.2 — Estação meteorológica e conjunto de dados climáticos (Ver 6.3.2)

Nome	Valor					
Identificador para conjunto de dados climáticos	< texto >					
Estação e/ou nome do conjunto de dados	< texto >					
	Símbolo	Unidade	Valor	Intervalo de validade ^a	Origem	Valor variável ^b
latitude	φ_w	°		-90 a +90	estação	Não
longitude ^c	λ_w			-180 a +180	estação	Não
fuso horário	<i>TZ</i>	h		-12 a +12	estação	Não
Primeiro dia da série temporal (dia do ano)	$n_{day;start}$	-		1 a 366	estação	Não
Último dia da série temporal (dia do ano)	$n_{day;end}$	-		1 a 366	estação	Não



Nome	Valor
Dia da semana para 1º de janeiro	- Segunda a domingo (dia 1 a 7) estação Não
Horário de verão? ^c	Exemplo de possíveis dados de entrada: — Aplicável para esta estação e considerado; — Aplicável para esta estação, mas desconsiderado; — Não aplicável para esta estação.
Dia adicional do ano bissexto incluído	Sim/Não
Outras informações específicas	< texto livre >
Nome	Valor
Referência à documentação sobre as faixas de aplicação e tipos de dados	< texto livre >
^a Alcance prático, informativo.	
^b “Valor variável”: o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo: valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).	
^c Se Sim: informações adicionais devem ser incluídas.	

A.4 Método de cálculo

Tabela A.3 — Método para avaliar a irradiância direta (normal), se não estiver disponível na estação meteorológica (Ver 6.4.2)

Método	Definição Sim/Não ^a
1 Método padrão	SIM ou NÃO
2 Outro método	SIM ou NÃO
No caso do método 2:	
Referência ao procedimento:	< Referência >
^a Apenas uma definição possível.	

Tabela A.4 — Refletividade solar do solo ($\rho_{sol;grnd}$) (Ver 6.4.3)

Nome	Valor ^a
Valor fixo	SIM/NÃO
Dependente da condição do solo, listada no arquivo de dados climáticos	SIM/NÃO
Dependente da condição do solo local (perto da superfície inclinada)	SIM/NÃO
Valores disponíveis no arquivo de dados climáticos	SIM/NÃO
^a Apenas uma definição possível.	

Se considerado valor fixo:

Tabela A.5 — Refletividade solar do solo; se considerado valor fixo

Nome	Valor
Refletividade solar do solo, $\rho_{sol;grnd}$ [-]	0 a 1

Se dependente da condição do solo:

Tabela A.6 — Refletividade solar do solo; se dependente das condições do solo

Descrição da condição do solo ^a	Valor para a refletividade solar do solo, $\rho_{sol;grnd}$ [-]
Solo seco ou úmido sem neve	0 a 1
...	0 a 1
^a Exemplo; linhas podem ser adicionadas ou excluídas.	

Tabela A.7 — Definição entre opções e métodos para o cálculo de sombreamento por objetos externos (Ver 6.4.5.1)

Aplicação ^b
Descrição	Definição	Definição
Efeito do sombreamento calculado neste documento?	Sim/Não	Sim/Não
Se Sim:	Definição ^a	Definição ^a
Apenas o método 1, Método simplificado (sombreamento da radiação direta)	Sim/Não	Sim/Não
Apenas método 2, Método detalhado (sombreamento da radiação direta e difusa)	Sim/Não	Sim/Não
Ambos os métodos são permitidos	Sim/Não	Sim/Não
<p>^a Apenas é possível um Sim por coluna.</p> <p>^b Se necessário, adicione mais colunas para diferenciar as aplicações (por exemplo, categorias de edificações, edifícios novos ou existentes, etc.).</p>		

Tabela A.8 — Número de segmentos da linha do horizonte, $n_{sh;segm}$ para os dados de entrada dos objetos de sombreamento (Ver 6.4.5.2)

Aplicação ^b
Descrição	Valor de $n_{sh;segm}$ ^a	Valor de $n_{sh;segm}$ ^a
Número máximo de segmentos em 360 graus	8 a 36	8 a 36
Largura fixa (= $360 / n_{sh;segm}$) ^c	Sim/Não	Sim/Não
<p>^a Alcance prático, informativo.</p> <p>^b Se necessário, adicione mais colunas para diferenciar as aplicações (por exemplo, categorias de edificações, edifícios novos ou existentes, etc.).</p> <p>^c Se não for fixa, a largura de cada segmento pode ser adaptada à largura do objeto de sombreamento, com limitação do número máximo de segmentos $n_{sh;segm}$.</p>		

Tabela A.9 — Definição entre métodos de cálculo de iluminância (Ver 6.4.6)

Aplicação^a
Descrição	Definição	Definição
Método 1, Método padrão, ou Método 2, Método alternativo	Método 1 ou método 2	Método 1 ou método 2
Se a definição for o método 2:	Descrição	Descrição
Descreva o método 2	Referência ou fórmula	Referência ou fórmula

^a Se necessário, adicione mais colunas para diferenciar as aplicações (por exemplo, categorias de edificações, edifícios novos ou existentes, etc.).



Anexo B (informativo)

Ficha de seleção dos dados de entrada e do método — Definições padrão

B.1 Generalidades

O modelo no Anexo A deste documento deve ser usado para especificar as escolhas entre os métodos, os dados de entrada necessários e as referências a outros documentos.

NOTA 1 Seguir este modelo não é suficiente para garantir a consistência dos dados.

NOTA 2 Padrões informativos são fornecidos no Anexo B. Valores e definições alternativas podem ser impostas por regulamentos nacionais/regionais. Se os valores e as definições padrão do Anexo B não forem adotadas devido aos regulamentos nacionais/regionais, políticas ou tradições nacionais, é esperado que:

- as autoridades nacionais ou regionais elaborem fichas de dados contendo os valores e as definições nacionais ou regionais, de acordo com o modelo do Anexo A; ou
- por padrão, o órgão de normalização nacional irá adicionar ou incluir um anexo nacional (Anexo N-A) a este documento, de acordo com o modelo do Anexo A, atribuindo valores e definições nacionais ou regionais de acordo com seus documentos legais.

NOTA 3 O modelo do Anexo A é aplicável à diferentes finalidades (por exemplo, o projeto de um novo edifício, a certificação de um novo edifício, a renovação de um edifício existente e a certificação de um edifício existente) e a diferentes tipos de edificações (por exemplo, edifícios pequenos ou simples e edifícios grandes ou complexos). Uma distinção entre os valores e as definições para diferentes aplicações ou tipos de edificações poderia ser feita:

- adicionando colunas ou linhas (uma para cada aplicação), se o modelo permitir;
- incluindo mais de uma versão de uma tabela (uma para cada aplicação), numeradas consecutivamente como a, b, c, ... Por exemplo: Tabela N-A.3a, Tabela N-A.3b;
- desenvolvendo diferentes fichas de dados nacionais/regionais para a mesma norma. No caso de um anexo nacional à norma, estes serão numerados consecutivamente (Anexo N-A, Anexo N-B, Anexo N-C, ...).

NOTA 4 Na Seção “Introdução” de uma ficha de dados nacionais/regionais, podem ser adicionadas informações, por exemplo, sobre os regulamentos nacionais/regionais aplicáveis.

NOTA 5 Para certos valores de entrada a serem obtidos pelo usuário, uma folha de dados seguindo o modelo do Anexo A poderia conter uma referência aos procedimentos nacionais para avaliar os dados de entrada necessários. Por exemplo, referência a um protocolo de avaliação nacional compreendendo árvores de decisão, tabelas e pré-cálculos.

Os campos sombreados nas tabelas fazem parte do modelo e, conseqüentemente, não devem ser preenchidos com dados de entrada.

B.2 Referências

As referências, identificadas pelo código do módulo DEE, são fornecidas na Tabela B.1.

Tabela B.1 — Referências

Referência	Documento de referência	
	Número	Título
Mx-y ^a

^a Neste documento, não há alternativas de referências a outras normas DEE. A tabela é utilizada para manter a uniformidade entre todas as normas DEE.

B.3 Dados de entrada climáticos

Tabela B.2 — Estação meteorológica e conjunto de dados climáticos (Ver 6.3.2)

Nome	Valor					
Identificador para conjunto de dados climáticos	DRYCOLD.TMY					
Estação e/ou nome do conjunto de dados	Denver, Colorado, EUA Arquivo: DRYCOLD.TMY					
	Símbolo	Unidade	Valor	Intervalo de validade ^a	Origem	Valor variável ^b
latitude	φ_w	°	39,76	-90 a +90	estação	Não
longitude ^c	λ_w		-104,86	-180 a +180	estação	Não
fuso horário	<i>TZ</i>	h	-7	-12 a +12	estação	Não
Primeiro dia da série temporal (dia do ano)	$n_{day;start}$	-	1	1 a 366	estação	Não
Último dia da série temporal (dia do ano)	$n_{day;end}$	-	365	1 a 366	estação	Não
Dia da semana para 1º de janeiro		-	Segunda (dia 1)	Segunda a domingo (dia 1 a 7)	estação	Não



Nome	Valor
Horário de verão? ^c	
Dia adicional do ano bissexto incluído	Não
Outras informações específicas	Horário nesta estação: Inverno: MST = UTC – 7 Verão: MDT = UTC – 6
Nome	Valor
Referência à documentação sobre as faixas de aplicação e tipos de dados	ANSI/ASHRAE standard 140 ^[10]
<p>^a Alcance prático, informativo.</p> <p>^b “Valor variável”: o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo: valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).</p> <p>^c Se Sim: informações adicionais devem ser incluídas.</p>	

B.4 Método de cálculo

Tabela B.3 — Método para avaliar a irradiância direta (normal), se não estiver disponível na estação meteorológica (Ver 6.4.2)

Método		Definição Sim/Não ^a
1	Método padrão	SIM
2	Outro método	NÃO
No caso do método 2:		
	Referência ao procedimento:	Não aplicável
^a Apenas uma definição possível.		

Tabela B.4 — Refletividade solar do solo ($\rho_{sol;grnd}$) (Ver 6.4.3)

Nome	Valor ^a
Valor fixo	SIM
Dependente da condição do solo, listada no arquivo de dados climáticos	NÃO
Dependente da condição do solo local (perto da superfície inclinada)	NÃO
Valores disponíveis no arquivo de dados climáticos	NÃO
^a Apenas uma definição possível.	

Se considerado valor fixo:

Tabela B.5 — Refletividade solar do solo; se considerado valor fixo

Nome	Valor
Refletividade solar do solo, $\rho_{sol;grnd}$ [-]	0,2

Se dependente da condição do solo:

Não aplicável e, portanto, a Tabela B.6 não é fornecida.

Tabela B.7 — Definição entre opções e métodos para o cálculo de sombreamento por objetos externos (Ver 6.4.5.1)

Aplicação ^b	Todas as aplicações	
Descrição	Definição	
Efeito do sombreamento calculado neste documento?	Não	
Se Sim:	Definição ^a	

Apenas o método 1, Método simplificado (sombreamento da radiação direta)	Sim	
Apenas método 2, Método detalhado (sombreamento da radiação direta e difusa)	Não	
Ambos os métodos são permitidos	Não	
<p>^a Apenas é possível um Sim por coluna.</p> <p>^b Se necessário, adicione mais colunas para diferenciar as aplicações (por exemplo, categorias de edificações, edifícios novos ou existentes, etc.).</p>		

Tabela B.8 — Número de segmentos da linha do horizonte, $n_{sh;segm}$ para os dados de entrada dos objetos de sombreamento (Ver 6.4.5.2)

Aplicação ^b	Todas as aplicações
Descrição	Valor de $n_{sh;segm}$ ^a	Valor de $n_{sh;segm}$ ^a
Número máximo de segmentos em 360 graus	15	
Largura fixa (= $360 / n_{sh;segm}$) ^c	Não	
<p>^a Alcance prático, informativo.</p> <p>^b Se necessário, adicione mais colunas para diferenciar as aplicações (por exemplo, categorias de edificações, edifícios novos ou existentes, etc.).</p> <p>^c Se não for fixa, a largura de cada segmento pode ser adaptada à largura do objeto de sombreamento, com limitação do número máximo de segmentos $n_{sh;segm}$.</p>		

Tabela B.9 — Definição entre métodos de cálculo de iluminância (Ver 6.4.6)

Aplicação ^a	Todas as aplicações
Descrição	Definição	Definição
Método 1, Método padrão, ou Método 2, Método alternativo	Método 1	



Se a definição for o método 2:	Descrição	Descrição
Descreva o método 2	Não aplicável	
^a Se necessário, adicione mais colunas para diferenciar as aplicações (por exemplo, categorias de edificações, edifícios novos ou existentes, etc.).		



Bibliografia

- [1] ISO 15927-1, Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 1: Monthly means of single meteorological elements
- [2] ISO 15927-2, Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 2: Hourly data design cooling load
- [3] ISO 15927-4, Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling
- [4] ISO 15927-5, Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 5: Data for design heat load for space heating
- [5] ISO 15927-6, Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 6: Accumulated temperature differences (degree-dais)
- [6] ISO/TR 52010-2, Energy performance of buildings – External climatic conditions – Part 2: Explanation and justification of ISO 52010-1
- [7] ISO/TR 52000-2, Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment – Part 2: Explanation and justification of ISO 52000-1
- [8] CEN/TS 16628, Energy performance of buildings – Basic principles for the set of EPB standards
- [9] CEN/TS 16629, Energy performance of buildings – Detailed technical rules for the set of EPB standards
- [10] ANSI/ASHRAE standard 140, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, 2014