



# **Materiais e produtos de construção — Propriedades higrotérmicas — Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto**

*Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*

## **Prefácio Nacional**

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 pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

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

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR ISO 10456 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). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº XX, de XX.XX.XXXX a XX.XX.XXXX.

O Escopo em inglês da ABNT NBR ISO 10456 é o seguinte:

### **Scope**

*This International Standard specifies methods for the determination of declared and design thermal values for thermally homogeneous building materials and products, together with procedures to convert values obtained under one set of conditions to those valid for another set of conditions. These procedures are valid for design ambient temperatures between  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .*

*This International Standard provides conversion coefficients for temperature and for moisture. These coefficients are valid for mean temperatures between  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  and  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .*

*This International Standard also provides design data in tabular form for use in heat and moisture transfer calculations, for thermally homogeneous materials and products commonly used in building construction.*



## Introdução

Esta Norma fornece os meios (em parte) para avaliar a contribuição dos produtos e sistemas de edifícios para a conservação de energia e para o desempenho energético geral das edificações.

Cálculos de transferência de calor e umidade exigem valores de projeto de propriedades térmicas e de umidade para materiais usados na construção.

Os valores de projeto podem ser derivados de valores declarados que são baseados em dados medidos sobre o produto em questão, o que normalmente é o caso de materiais de isolamento térmico. Quando as condições de projeto diferem daquelas do valor declarado, os dados precisam ser convertidos para as condições aplicáveis. Esta Norma fornece os métodos e dados para realizar essa conversão.

Para materiais para os quais os valores medidos não estão disponíveis, os valores de projeto podem ser obtidos a partir de tabelas. Esta Norma fornece tais informações tabuladas com base na compilação de dados existentes (ver documentos de referência listados na Bibliografia).

# Materiais e produtos de construção — Propriedades higrotérmicas — Valores e procedimentos de projeto tabulados para determinar valores térmicos declarados e de projeto

## 1 Escopo

Esta Norma especifica os métodos para a determinação de valores térmicos declarados e de projeto para materiais e produtos de construção termicamente homogêneos, juntamente com procedimentos para converter valores obtidos em um determinado conjunto de condições em valores válidos para outro conjunto de condições. Estes procedimentos são válidos para temperaturas ambientes entre - 30 °C e + 60 °C.

Esta Norma fornece coeficientes de conversão para temperatura e umidade. Estes coeficientes são válidos para temperaturas médias entre 0 °C e 30 °C.

Esta Norma também fornece dados de projeto tabulados para uso em cálculos de transferência de calor e umidade, para materiais e produtos termicamente homogêneos comumente usados na construção civil.

## 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 8990, Thermal insulation — Determination of steady-state thermal transmission properties — Calibrated and guarded hot box*

*ISO 12572, Hygrothermal performance of building materials and products — Determination of water vapour transmission properties*

## 3 Termos, definições, símbolos e unidades

### 3.1 Termos e definições

Para efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições dados na ISO 7345 e os seguintes.

#### 3.1.1

##### **valor térmico declarado**

valor esperado da propriedade térmica de um material de construção ou produto avaliado a partir de dados medidos em condições de referência de temperatura e umidade, dado para uma fração declarada e nível de confiança, e correspondente a uma vida útil razoável esperada em condições normais

#### 3.1.2

##### **valor térmico de projeto**

condutividade térmica de projeto ou resistência térmica de projeto



NOTA Um mesmo produto pode ter mais de um valor de projeto, para diferentes aplicações ou condições ambientais.

### 3.1.3 condutividade térmica de projeto

valor de condutividade térmica de um material de construção ou produto sob condições externas e internas específicas que podem ser consideradas como típicas do desempenho deste material ou produto quando incorporado ao componente construtivo

### 3.1.4 resistência térmica de projeto

valor de resistência térmica de um produto de construção sob condições externas e internas específicas que podem ser consideradas como típicas do desempenho deste produto quando incorporado ao componente construtivo

### 3.1.5 material

parte de um produto, independentemente de sua forma e dimensões de entrega, sem qualquer acabamento ou revestimento

### 3.1.6 produto

forma final de um material pronto para uso, de determinado formato e dimensões, e incluindo quaisquer acabamentos ou revestimentos

## 3.2 Símbolos e unidades

símbolo	quantidade	unidade
$c_p$	calor específico em pressão constante	J/(kg.K)
$F_a$	fator de conversão de envelhecimento	—
$F_m$	fator de conversão de umidade	—
$F_T$	fator de conversão de temperatura	—
$f_T$	coeficiente de conversão de temperatura	K <sup>-1</sup>
$f_u$	coeficiente de conversão de umidade massa por massa <sup>a</sup>	kg/kg
$f_\psi$	coeficiente de conversão de umidade volume por volume <sup>a</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
$R$	resistência térmica	m <sup>2</sup> .K/W
$s_d$	espessura da camada de ar equivalente à difusão de vapor de água	m
$T$	temperatura termodinâmica	K
$u$	teor de umidade massa por massa	kg/kg
$\lambda$	condutividade térmica	W/(m.K)
$\mu$	fator de resistência ao vapor de água	—
$\rho$	densidade	kg/m <sup>3</sup>
$\psi$	teor de umidade volume por volume	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

<sup>a</sup> Para conversão de propriedades térmicas.

## 4 Métodos de ensaios e condições de ensaios

### 4.1 Ensaios para propriedades térmicas



#### 4.1.1 Métodos de ensaios

Os valores medidos de condutividade térmica ou resistência térmica devem ser obtidos utilizando os seguintes métodos:

- placa quente protegida, de acordo com a ISO 8302 ou método nacional equivalente;
- fluximétrico, de acordo com a ISO 8301 ou método nacional equivalente;
- caixa quente calibrada e protegida, de acordo com a ISO 8990.

NOTA BRASILEIRA Considerando método nacional equivalente, recomenda-se a utilização da *ASTM C177*, para as medições realizadas pelo método da placa quente; e a *ASTM C518*, para as medições utilizando o método fluximétrico.

#### 4.1.2 Condições de ensaio

Para evitar conversões, recomenda-se que as medições sejam realizadas sob condições correspondentes ao conjunto selecionado de condições indicadas na Tabela 1.

Convém que a temperatura média do ensaio seja escolhida de forma que a aplicação dos coeficientes de temperatura não introduza uma alteração maior do que 2 % do valor medido.

As seguintes condições de ensaio são necessárias:

- espessura e densidade medidas para identificação;
- temperatura média do ensaio;
- teor de umidade da amostra durante o ensaio;
- (para materiais envelhecidos) idade da amostra e procedimentos de amostra e condicionamento antes do ensaio.

#### 4.2 Ensaios para propriedades de umidade

Os valores medidos do fator de resistência ao vapor de água ou da espessura da camada de ar equivalente à difusão de vapor de água devem ser obtidos utilizando a ISO 12572.

### 5 Determinação de valores térmicos declarados

Um valor térmico declarado deve ser fornecido sob um dos conjuntos de condições, a) ou b), na Tabela 1, com temperatura de referência I (10 °C) ou II (23 °C).

Tabela 1 — Condições de valor declaradas

Propriedade	Conjuntos de condições			
	I (10 °C)		II (23 °C)	
	a)	b)	a)	b)
Temperatura de referência	10 °C	10 °C	23 °C	23 °C
Umidade	$u_{dry}^a$	$u_{23,50}^b$	$u_{dry}^a$	$u_{23,50}^b$
Envelhecimento	envelhecido	envelhecido	envelhecido	envelhecido

<sup>a</sup>  $u_{dry}$  é um baixo teor de umidade alcançado pela secagem de acordo com as especificações ou padrões para o material em questão.

<sup>b</sup>  $u_{23,50}$  é o teor de umidade quando em equilíbrio com ar a 23 °C e umidade relativa de 50 %.

Ou o valor declarado deve ser determinado em uma espessura grande o suficiente para se negligenciar o efeito de espessura, ou os valores declarados para espessuras menores devem ser baseados em medidas nessas espessuras.

Os dados utilizados devem ser ambos

- valores medidos diretamente de acordo com os métodos de ensaios dados na Seção 4, ou
- obtidos indiretamente, fazendo uso de uma correlação estabelecida com uma propriedade relacionada, como a densidade.

Quando os dados não forem medidos sob o mesmo conjunto de condições, eles serão primeiro convertidos a um conjunto de condições (ver a Seção 7). Em seguida, será calculada uma estimativa estatística de valor único. O Anexo C se refere às Normas Internacionais sobre estatísticas que podem ser utilizadas.

Durante os cálculos, nenhum valor será arredondado para menos de três casas decimais.

O valor declarado é o valor estimado pelo valor único estatístico, arredondado de acordo com as seguintes regras:

- a) para condutividade térmica,  $\lambda$ , expressa em W/(m.K):
- se  $\lambda \leq 0,08$ : arredondamento para cima, com valor mais próximo 0,001 W/(m.K);
  - se  $0,08 < \lambda \leq 0,20$ : arredondamento para cima, com valor mais próximo 0,005 W/(m.K);
  - se  $0,20 < \lambda \leq 2,00$ : arredondamento para cima, com valor mais próximo 0,01 W/(m.K);
  - se  $2,00 < \lambda$ : arredondamento para cima, com valor mais próximo 0,1 W/(m.K);
- b) para resistência térmica, R, expressa em m<sup>2</sup>.K/W, arredonda-se para o valor mais baixo mais próximo, para não mais do que duas ou três casas decimais.

As regras para determinar valores declarados para produtos específicos podem ser especificadas nas normas aplicáveis do produto.



## 6 Determinação dos valores térmicos de projeto

### 6.1 Geral

Os valores de projeto podem ser obtidos a partir de valores declarados, valores medidos ou valores tabulados (ver a Seção 8).

Os dados medidos devem ser ambos

- valores diretamente medidos de acordo com os métodos de ensaios dados na Seção 4, ou
- obtidos indiretamente, fazendo uso de uma correlação estabelecida com uma propriedade relacionada, como a densidade

Se o conjunto de condições para os valores declarados, medidos ou tabulados pode ser considerado pertinente para a aplicação real, esses valores podem ser usados diretamente como valores de projeto. Caso contrário, a conversão dos dados será realizada de acordo com o procedimento previsto na Seção 7.

### 6.2 Arredondamento dos valores de projeto

O valor do projeto será arredondado de acordo com as regras estabelecidas na Seção 5:

- para condutividade térmica, como o valor superior mais próximo, expressa em Watts por metro Kelvin ( $W/(m.K)$ );
- para resistência térmica, como o valor inferior mais próximo, expressa em metro quadrado Kelvin por Watts ( $m^2.K/W$ ).

### 6.3 Valores de projeto derivados de valores declarados

Quando o valor do projeto for calculado a partir do valor declarado e se basear na mesma análise estatística, o valor declarado deve ser convertido às condições de projeto.

O Anexo C traz informações sobre como derivar valores de projeto com base em outra análise estatística diferente da aplicável ao valor declarado.

### 6.4 Valores de projeto derivados de valores medidos

Quando necessário, todos os dados devem ser convertidos primeiro para as condições de projeto. Uma estimativa estatística de valor único será então calculada. O Anexo C trata das Normas Internacionais sobre estatísticas que podem ser utilizadas.

## 7 Conversão de valores térmicos

### 7.1 Geral

As conversões de valores térmicos de um conjunto de condições  $(\lambda_1, R_1)$  para outro conjunto de condições  $(\lambda_2, R_2)$  são realizadas de acordo com as seguintes equações:

$$\lambda_2 = \lambda_1 F_T F_m F_a \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{R_1}{F_T F_m F_a} \quad (2)$$

Os coeficientes de conversão podem ser retirados das tabelas aplicáveis nesta Norma. Alternativamente, podem ser derivados de dados medidos obtidos de acordo com os métodos de ensaio referidos em 4.1, desde que o procedimento para determinar coeficientes de conversão diferentes daqueles da Tabela 4 sejam validados por institutos de ensaio independentes.

## 7.2 Conversão para temperatura

O fator  $F_T$  para a temperatura é determinado por

$$F_T = e^{f_T(T_2 - T_1)} \quad (3)$$

onde

$f_T$  é o coeficiente de conversão de temperatura;

$T_1$  é a temperatura do primeiro conjunto de condições;

$T_2$  é a temperatura do segundo conjunto de condições.

Os valores do coeficiente de conversão de temperatura para materiais de isolamento e materiais de alvenaria são dados no Anexo A.

NOTA O efeito da temperatura nas propriedades térmicas de outros materiais geralmente não é significativo para cálculos de transferência de calor, e geralmente pode ser negligenciado.

Convém que os valores térmicos de projeto sejam obtidos para a temperatura média esperada do material conforme instalado no componente no clima aplicável.

## 7.3 Conversão para umidade

O fator  $F_m$  para o teor de umidade é determinado da seguinte forma:

a) conversão de teor de umidade dada em massa por massa:

$$F_m = e^{f_u(u_2 - u_1)} \quad (4)$$

onde

$f_u$  é a massa do coeficiente de conversão de umidade por massa;

$u_1$  é a massa de teor de umidade por massa do primeiro conjunto de condições;

$u_2$  é a massa de teor de umidade por massa do segundo conjunto de condições;

b) conversão de teor de umidade dado em volume por volume:

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)} \quad (5)$$

onde

$f_\psi$  é o volume do coeficiente de conversão de umidade em volume;

$\psi_1$  é o volume de teor de umidade por volume do primeiro conjunto de condições;





$\psi_2$  é o volume de teor de umidade por volume do segundo conjunto de condições.

Os valores do coeficiente de conversão de umidade para materiais de isolamento e alvenaria são dados na Tabela 4.

#### 7.4 Conversão por envelhecimento

O envelhecimento depende do tipo de material, revestimentos, estruturas, o agente de expansão, a temperatura e a espessura do material. Para um determinado material, o efeito do envelhecimento pode ser obtido a partir de modelos teóricos validados por dados experimentais. Não existem regras simples para correlacionar o envelhecimento ao longo do tempo para um determinado material.

Se o valor térmico declarado considerar o envelhecimento, não serão aplicadas conversões de envelhecimento adicionais para valores térmicos de projeto.

Se for utilizado um fator de conversão  $F_a$ , este deve permitir o cálculo do valor envelhecido da propriedade térmica correspondente a um tempo não inferior à metade da vida útil do produto na aplicação em questão.

NOTA 1 A vida útil é frequentemente adotada como 50 anos.

NOTA 2 Nenhum coeficiente de conversão é dado nesta Norma para derivar o fator de conversão de envelhecimento  $F_a$ . Procedimentos para estabelecer valores de idade ou fatores de envelhecimento são dados em algumas normas de produtos.

NOTA BRASILEIRA De acordo com estudo existente [23], lâs minerais (vidro e rocha) não apresentam degradação por envelhecimento, até 30 anos.

#### 7.5 Convecção natural

O início da convecção natural em um material isolante, com uma estrutura aberta, depende da permeabilidade, espessura e diferença de temperatura. A força motriz da convecção natural é descrita pelo número modificado de Rayleigh,  $Ra_m$ , que é um número adimensional definido para os propósitos desta Norma por

$$Ra_m = 3 \times 10^6 \frac{dk\Delta T}{\lambda} \quad (6)$$

onde

$\Delta T$  é a diferença de temperatura através do isolamento, expressa em Kelvins (K);

$d$  é a espessura do isolamento, expressa em metros (m);

$k$  é a permeabilidade do isolamento, expressa em metros quadrados ( $m^2$ );

$\lambda$  é a condutividade térmica do isolamento sem convecção, expressa em Watts por metro Kelvin [W/(m.K)].

Se  $Ra_m$  não exceder o valor crítico da Tabela 2, nenhuma correção para convecção natural precisa ser feita.

NOTA 1 A definição formal de  $Ra_m$  é

$$Ra_m = \frac{g\beta\rho c_p}{\nu} \times \frac{dk\Delta T}{\lambda} \quad (7)$$

onde

$g$  é a aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);

$\beta$  é o coeficiente de expansão térmica para o ar;

$\rho$  é a densidade do ar;

$c_p$  é o calor específico para o ar em pressão constante;

$\nu$  é a viscosidade cinemática para o ar (igual à viscosidade dinâmica dividida pela densidade).

A Equação (6) é obtida substituindo as propriedades do ar a 10 °C, conforme a ISO 10292.

NOTA 2 A permeabilidade é definida para condições unidimensionais em estado estacionário pela equação:

$$\frac{\Delta P}{d} = \frac{\eta}{k} \times \frac{\dot{V}}{A} \quad (8)$$

onde

$\Delta P$  é a diferença de pressão;

$\eta$  é a viscosidade dinâmica do ar;

$\dot{V}$  é o fluxo volumétrico de ar;

$A$  é a área.

Pode ser obtido a partir de medições da resistividade do fluxo de ar do produto,  $r$ , de acordo com a ISO 9053 por

$$k = \frac{\eta}{r} \quad (9)$$

NOTA 3 Em climas frios, o risco de convecção é maior para um determinado material porque o valor de  $\Delta T$  na Equação (6) é maior.

**Tabela 2 — Número de Rayleigh modificado crítico**

Direção de fluxo de calor <sup>a</sup>	$Ra_m$
Horizontal	2,5
Ascendente, superfície superior aberta	15
Ascendente, superfície superior protegida do vento (não permeável ao ar)	30

<sup>a</sup> Usar interpolação linear do número de Rayleigh modificado para ângulos intermediários baseados em  $\cos \theta$ , onde a horizontal é  $\theta = 0$ .



Atualmente, não existem procedimentos comumente aceitos para permitir a análise da convecção em materiais isolantes. Se  $Ra_m$  exceder o valor crítico da Tabela 2, são necessárias análises ou medições detalhadas para quantificar o efeito da convecção.

## 8 Valores higrotérmicos de projeto tabulados

### 8.1 Generalidades

As Tabelas 3, 4 e 5 fornecem valores típicos de projeto adequados para uso em cálculos de transferência de calor e umidade na ausência de informações específicas sobre o(s) produto(s) em questão. Quando disponíveis, convém que os valores certificados dos fabricantes sejam preferencialmente usados no lugar dos valores tabelados.

A Tabela 3 fornece valores de projeto para condutividade térmica, calor específico e fator de resistência ao vapor de água para materiais comumente utilizados em aplicações de construção. Quando uma série de valores são dados para um material dependendo da densidade, a interpolação linear pode ser utilizada.

A Tabela 4 fornece valores de projeto para o calor específico e informações sobre teor de umidade, coeficientes de conversão de umidade e fatores de resistência ao vapor de água para materiais de isolamento e materiais de alvenaria. O teor de umidade de materiais e produtos é dado em equilíbrio com ar a 23 °C e umidade relativa de 50 % e 80 %. As faixas de densidade e teor de umidade mostradas na Tabela 4 indicam o intervalo de aplicabilidade dos dados.

A Tabela 5 apresenta a espessura da camada de ar equivalente à difusão de vapor de água para camadas finas.

NOTA A EN 1745 fornece informações sobre a condutividade térmica das unidades de alvenaria no estado seco.

### 8.2 Valores térmicos de projeto

Convém que os valores térmicos de projeto para materiais de isolamento e alvenaria sejam convertidos para as condições de projeto aplicáveis utilizando os coeficientes de conversão nos Anexos A e na Tabela 4, respectivamente.

Os dados sobre o teor da umidade na Tabela 4 (a 23 °C e umidade relativa de 50 % e 80 %) são indicativos do teor de umidade de equilíbrio dos materiais em questão em aplicações típicas de construção. Eles não são aplicáveis a situações de alta umidade, como pode ser o caso abaixo do solo, por exemplo. Os dados sobre o teor de umidade de equilíbrio para aplicações específicas podem ser fornecidos em tabelas nacionais.

### 8.3 Valores de umidade de projeto

As tabelas 3 e 4 dão valores do fator de resistência ao vapor de água para condições de "copo seco" e "copo úmido" (conforme definido na ISO 12572).

Em ambientes com umidade relativa baixa, o vapor de água é transportado através de materiais porosos predominantemente por difusão de vapor. À medida que a umidade relativa aumenta, os poros começam a encher de água líquida e o fluxo líquido se torna um mecanismo de transporte cada vez mais importante. A resistência aparente ao vapor, portanto, cai com o aumento da umidade relativa. Esse efeito é resumido pelos valores do copo seco, que se aplicam quando a umidade relativa média em um material é inferior a 70 %, e os valores do copo molhado que se aplicam quando a umidade relativa média é maior ou igual a 70 %. Para edifícios aquecidos, os valores do copo seco são geralmente aplicáveis a materiais no interior de uma camada de



ABNT/CB-002  
PROJETO ABNT NBR ISO 10456  
ABR 2022

isolamento, e valores de copo molhado para aqueles do lado de fora de uma camada de isolamento. Se uma camada de isolamento específica (por exemplo, paredes de alvenaria monolítica) não estiver presente, os valores do copo seco se aplicam quando o componente está umedecendo de um estado seco, e os valores do copo úmido se aplicam quando o componente está secando de um estado úmido.

Tabela 3 — Valores térmicos de projeto para materiais em aplicações gerais de construção

Grupo ou aplicação do material		Densidade $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Condutividade térmica de projeto $\lambda$ W/(m.K)	Calor específico $c_p$ J/(kg.K)	Fator de resistência ao vapor de água $\mu$	
					seco	úmido
<b>Asfalto</b>		2 100	0,70	1 000	50 000	50 000
<b>Betume</b>	Puro	1 050	0,17	1 000	50 000	50 000
	Feltro/folha	1 100	0,23	1 000	50 000	50 000
<b>Concreto<sup>a</sup></b>	Densidade média	1 800	1,15	1 000	100	60
		2 000	1,35	1 000	100	60
		2 200	1,65	1 000	120	70
	Densidade alta	2 400	2,00	1 000	130	80
	Armado (com 1 % de aço)	2 300	2,3	1 000	130	80
	Armado (com 2 % de aço)	2 400	2,5	1 000	130	80
<b>Revestimentos de piso</b>	Borracha	1 200	0,17	1 400	10 000	10 000
	Plástico	1 700	0,25	1 400	10 000	10 000
	Subcamada, borracha celular ou plástico	270	0,10	1 400	10 000	10 000
	Subcamada, feltro	120	0,05	1 300	20	15
	Subcamada, lã	200	0,06	1 300	20	15
	Subcamada, cortiça	< 200	0,05	1 500	20	10
	Azulejos, cortiça	> 400	0,065	1 500	40	20
	Carpete/piso têxtil	200	0,06	1 300	5	5
Linóleo	1 200	0,17	1 400	1 000	800	
<b>Gases</b>	Ar	1,23	0,025	1 008	1	1
	Dióxido de carbono	1,95	0,014	820	1	1
	Argônio	1,70	0,017	519	1	1
	Hexafluoreto de enxofre	6,36	0,013	614	1	1
	Criptônio	3,56	0,009 0	245	1	1
	Xénon	5,68	0,005 4	160	1	1
<b>Vidro</b>	Vidro <i>float</i>	2 500	1,00	750	$\infty$	$\infty$
	Vidro de quartzo	2 200	1,40	750	$\infty$	$\infty$
	Mosaico de vidro	2 000	1,20	750	$\infty$	$\infty$
<b>Água</b>	Gelo a -10 °C	920	2,30	2 000	—	—
	Gelo a 0 °C	900	2,20	2 000	—	—
	Neve, recém-caída (< 30 mm)	100	0,05	2 000	—	—
	Neve, macia (30 a 70 mm)	200	0,12	2 000	—	—
	Neve, ligeiramente compactada (70 a 100 mm)	300	0,23	2 000	—	—
	Neve, compactada (< 200 mm)	500	0,60	2 000	—	—
	Água a 10 °C	1 000	0,60	4 190	—	—
	Água a 40 °C	990	0,63	4 190	—	—
	Água a 80 °C	970	0,67	4 190	—	—



Tabela 3 (continuação)

Grupo ou aplicação de material		Densidade $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Condutividade térmica de projeto $\lambda$ W/(m.K)	Calor específico $c_p$ J/(kg.K)	Fator de resistência ao vapor de água $\mu$	
					seco	úmido
<b>Metais</b>	Ligas de alumínio	2 800	160	880	$\infty$	$\infty$
	Bronze	8 700	65	380	$\infty$	$\infty$
	Latão	8 400	120	380	$\infty$	$\infty$
	Cobre	8 900	380	380	$\infty$	$\infty$
	Ferro, fundido	7 500	50	450	$\infty$	$\infty$
	Chumbo	11 300	35	130	$\infty$	$\infty$
	Aço	7 800	50	450	$\infty$	$\infty$
	Aço inoxidável <sup>b</sup> austenítico ou austenítico-ferrítico	7 900	17	500	$\infty$	$\infty$
	Aço inoxidável <sup>b</sup> ferrítico ou martensítico	7 900	30	460	$\infty$	$\infty$
	Zinco	7 200	110	380	$\infty$	$\infty$
<b>Plásticos, sólidos</b>	Acrílico	1 050	0,20	1 500	10 000	10 000
	Polícarbonatos	1 200	0,20	1 200	5 000	5 000
	Politetrafluoreno (PTFE)	2 200	0,25	1 000	10 000	10 000
	Policloreto de polivinila (PVC)	1 390	0,17	900	50 000	50 000
	Polimetilmetacrilato (PMMA)	1 180	0,18	1 500	50 000	50 000
	Poliacetato	1 410	0,30	1 400	100 000	100 000
	Poliamida (náilon)	1 150	0,25	1 600	50 000	50 000
	Poliamida 6,6 com 25 % de fibra de vidro	1 450	0,30	1 600	50 000	50 000
	Poliétileno, alta densidade	980	0,50	1 800	100 000	100 000
	Poliétileno, baixa densidade	920	0,33	2 200	100 000	100 000
	Poliestireno	1 050	0,16	1 300	100 000	100 000
	Polipropileno	910	0,22	1 800	10 000	10 000
	Polipropileno com 25 % de fibra de vidro	1 200	0,25	1 800	10 000	10 000
	Poliuretano (PU)	1 200	0,25	1 800	6 000	6 000
	Resina epóxi	1 200	0,20	1 400	10 000	10 000
	Resina fenólica	1 300	0,30	1 700	100 000	100 000
Resina de poliéster	1 400	0,19	1 200	10 000	10 000	
<b>Borracha</b>	Natural	910	0,13	1 100	10 000	10 000
	Neoprene (policloroprene)	1 240	0,23	2 140	10 000	10 000
	Butyl (isobuteno), fusão sólido/quente	1200	0,24	1 400	200 000	200 000
	Espuma de borracha	60 – 80	0,06	1 500	7 000	7 000
	Borracha dura (ebonite), sólida	1 200	0,17	1 400	$\infty$	$\infty$
	Monômero de etileno propileno dieno (EPDM)	1 150	0,25	1 000	6 000	6 000
	Poli-isobutileno	930	0,20	1 100	10 000	10 000
	Polissulfeto	1 700	0,40	1 000	10 000	10 000
Butadieno	980	0,25	1 000	100 000	100 000	



ABNT/CB-002  
PROJETO ABNT NBR ISO 10456  
ABR 2022

Tabela 3 (continuação)

Grupo ou aplicação de material		Densidade $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Condutividade térmica de projeto $\lambda$ W/(m.K)	Calor específico $c_p$ J/(kg.K)	Fator de resistência ao vapor de água $\mu$	
					seco	úmido
<b>Materiais selantes e "thermal breaks"</b>	Gel de sílica (dessecante)	720	0,13	1 000	$\infty$	$\infty$
	Silicone, puro	1 200	0,35	1 000	5 000	5 000
	Silicone, preenchido	1 450	0,50	1 000	5 000	5 000
	Espuma de silicone	750	0,12	1 000	10 000	10 000
	Uretano/poliuretano ( <i>thermal break</i> )	1 300	0,21	1 800	60	60
	Policloreto de vinila (PVC), flexível, com 40 % de amaciante	1 200	0,14	1 000	100 000	100 000
	Espuma elastomérica, flexível	60 - 80	0,05	1 500	10 000	10 000
	Espuma de poliuretano (PU)	70	0,05	1 500	60	60
Espuma de polietileno	70	0,05	2 300	100	100	
<b>Gesso</b>	Gesso	600	0,18	1 000	10	4
		900	0,30	1 000	10	4
		1 200	0,43	1 000	10	4
		1 500	0,56	1 000	10	4
	Placa de gesso <sup>c</sup>	700	0,21	1 000	10	4
	900	0,25	1 000	10	4	
<b>Reboco</b>	Reboco de gesso com baixa condutividade	600	0,18	1 000	10	6
	Gesso	1 000	0,40	1 000	10	6
		1 300	0,57	1 000	10	6
	Gesso, areia	1 600	0,80	1 000	10	6
	Cal, areia	1 600	0,80	1 000	10	6
	Cimento, areia	1 800	1,00	1 000	10	6
<b>Solos</b>	Argila ou lodo	1 200 - 1 800	1,5	1 670 - 2 500	50	50
	Areia e cascalho	1 700 - 2 200	2,0	910 - 1 180	50	50
<b>Pedra</b>	Rocha natural, cristalina	2 800	3,5	1 000	10 000	10 000
	Rocha natural, sedimentar	2 600	2,3	1 000	250	200
	Rocha natural, sedimentar, leve	1 500	0,85	1 000	30	20
	Natural, poroso, por exemplo, lava	1 600	0,55	1 000	20	15
	Basalto	2 700 - 3 000	3,5	1 000	10 000	10 000
	Gneiss	2 400 - 2 700	3,5	1 000	10 000	10 000
	Granito	2 500 - 2 700	2,8	1 000	10 000	10 000
	Mármore	2 800	3,5	1 000	10 000	10 000
	Ardósia	2 000 - 2 800	2,2	1 000	1000	800
	Calcário, extra macio	1 600	0,85	1 000	30	20
	Calcário, macio	1 800	1,1	1 000	40	25
	Calcário, semiduro	2 000	1,4	1 000	50	40
	Calcário, duro	2 200	1,7	1 000	200	150
	Calcário, extra duro	2 600	2,3	1 000	250	200
	Arenito (sílica)	2 600	2,3	1 000	40	30
	Pedras-pomes natural	400	0,12	1 000	8	6
Pedra artificial	1 750	1,3	1 000	50	40	
<b>Telhas (telhados)</b>	Argila	2 000	1,0	800	40	30
	Concreto	2 100	1,5	1 000	100	60
<b>Telhas (outras)</b>	Cerâmica/porcelana	2 300	1,3	840		$\infty$
	Plástico	1 000	0,20	1 000	10 000	10 000
<b>Madeira <sup>d</sup></b>		450	0,12	1 600	50	20
		500	0,13	1 600	50	20
		700	0,18	1 600	200	50



Tabela 3 (continuação)

Grupo ou aplicação de material		Densidade $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Condutividade térmica de projeto $\lambda$ W/(m.K)	Calor específico $c_p$ J/(kg.K)	Fator de resistência ao vapor de água $\mu$		
					seco	úmido	
Painéis à base de madeira <sup>d</sup>	Compensado <sup>e</sup>	300	0,09	1 600	150	50	
		500	0,13	1 600	200	70	
		700	0,17	1 600	220	90	
		1 000	0,24	1 600	250	110	
		Placa de partículas ligadas a cimento	1 200	0,23	1 500	50	30
		Placas de partículas	300	0,10	1 700	50	10
			600	0,14	1 700	50	15
			900	0,18	1 700	50	20
		Placa de tiras de madeira orientada (OSB)	650	0,13	1 700	50	30
		Placa de fibra, incluindo MDF <sup>f</sup>	250	0,07	1 700	5	3
			400	0,10	1 700	10	5
			600	0,14	1 700	20	12
			800	0,18	1 700	30	20

NOTA 1 Para fins computacionais, o valor  $\infty$  pode ter que ser substituído por um valor arbitrariamente grande, por exemplo, 10<sup>6</sup>.

NOTA 2 Os fatores de resistência ao vapor de água são dados como copo seco e valores de copo úmido, ver 8.3.

<sup>a</sup> A densidade para o concreto é a densidade seca.

<sup>b</sup> A EN 10088-1 contém extensas listas de propriedades de aços inoxidáveis que podem ser usadas quando a composição precisa do aço inoxidável é conhecida.

<sup>c</sup> A condutividade térmica inclui o efeito dos forros de papel.

<sup>d</sup> A densidade para produtos à base de madeira e madeira é a densidade em equilíbrio com 20 °C e 65 % de umidade relativa, incluindo a massa de água higroscópica.

<sup>e</sup> Como medida provisória e até que sejam utilizados dados significativos suficientes para painéis de madeira maciça (SWP) e madeira laminada (LVL), os valores dados para compensado podem ser utilizados.

<sup>f</sup> MDF: Fibras de densidade média, processo seco.







Tabela 4 — Propriedades de umidade e calor específico de materiais de isolamento térmico e materiais de alvenaria

Material	Densidade $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Teor de umidade a 23 °C, 50% RH <sup>a</sup>		Teor de umidade a 23 °C, 80% RH <sup>a</sup>		Coeficiente de conversão de umidade <sup>b</sup>				Fator de resistência ao vapor de água $\mu$		Calor específico $c_p$ J/(kg.K)
		$u$ kg/kg	$\psi$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	$u$ kg/kg	$\psi$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Teor de umidade $u$ kg/kg	$f_u$	Teor de umidade $\psi$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	$f_\psi$	seco	úmido	
Poliestireno expandido	10 – 50		0		0			< 0,10	4	60	60	1 450
Espuma de poliestireno extrudado	20 – 65		0		0			< 0,10	2,5	150	150	1 450
Espuma de poliuretano, rígida	28 – 55		0		0			< 0,15	6	60	60	1 400
Lã mineral	10 – 200		0		0			< 0,15	4 <sup>c</sup>	1	1	1 030
Espuma fenólica	20 – 50		0		0			< 0,15	5	50	50	1 400
Vidro celular	100 – 150	0		0		0	0			$\infty$	$\infty$	1 000
Placa de perlite	140 – 240	0,02		0,03		0 a 0,03	0,8			5	5	900
Cortiça expandida	90 – 140		0,008		0,011			< 0,10	6	10	5	1 560
Placa de lã de madeira	250 – 450		0,03		0,05			< 0,10	1,8	5	3	1 470
Placa de fibra de madeira	40 – 250	0,02		0,03				< 0,05	1,4	5	3	2 000
Espuma de ureia-formaldeído	10 – 30	0,1		0,15		< 0,15	0,7			2	2	1 400
Espuma de poliuretano aplicada por <i>spray</i>	30 – 50		0		0			< 0,15	6	60	60	1 400
Lã mineral de enchimento solto	15 – 60		0		0			< 0,15	4	1	1	1 030
Fibra de celulose de enchimento solto	20 – 60	0,11		0,18		< 0,20	0,5			2	2	1 600
Perlite expandida de preenchimento solto	30 – 150	0,01		0,02		0 a 0,02	3			2	2	900
Vermiculite esfoliada de preenchimento solto	30 – 150	0,01		0,02		0 a 0,02	2			3	2	1 080
Argila expandida de preenchimento solto	200 – 400	0		0,001		0 a 0,02	4			2	2	1 000
Contas de poliestireno expandido de preenchimento solto	10 – 30		0		0	< 0,10		4	4	2	2	1 400
Argila queimada	1 000 – 2 400		0,007		0,012			0 a 0,25	10	16	10	1 000
Silicato de cálcio	900 – 2 200		0,012		0,024			0 a 0,25	10	20	15	1 000



ABNT/CB-002  
PROJETO 002:135.007-005 (ISO 10456:2007/Cor1:2009)  
MAI 2021

Tabela 4 (continuação)

Material	Densidade $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Teor de umidade a 23 °C, 50% RH <sup>a</sup>		Teor de umidade a 23 °C, 80% RH <sup>a</sup>		Coeficiente de conversão de umidade <sup>b</sup>				Fator de resistência ao vapor de água $\mu$		Calor específico $c_p$ J/(kg.K)
		$u$ kg/kg	$\psi$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	$u$ kg/kg	$\psi$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Teor de umidade $u$ kg/kg	$f_u$	Teor de umidade $\psi$ m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	$f_\psi$	seco	úmido	
Concreto sem outro agregado que não pedras-pomes	500 - 1 300		0,02		0,035			0 a 0,25	4	50	40	1 000
Concreto com agregado denso e pedra manufaturada	1 600 - 2 400		0,025		0,04			0 a 0,25	4	150	120	1 000
Concreto com agregados de poliestireno	500 – 800		0,015		0,025			0 a 0,25	5	120	60	1 000
Concreto sem outro agregado além de argila expandida	400 – 700	0,02		0,03		0 a 0,25	2,6			6	4	1 000
Concreto com argila expandida como agregado predominante	800 - 1 700	0,02		0,03		0 a 0,25	4			8	6	1 000
Concreto com mais de 70 % de agregado expandido de escória de alto-forno ( <i>expanded blast-furnace slag aggregate</i> )	1 100 - 1 700	0,02		0,04		0 a 0,25	4			30	20	1 000
Concreto com o agregado predominante derivado do material de mina piroprocessado ( <i>pyroprocessed colliery material</i> )	1 100 - 1 500	0,02		0,04		0 a 0,25	4		15		10	1 000
Concreto aerado autoclavado	300 - 1 000	0,026		0,045		0 a 0,25	4			10	6	1 000
Concreto com outros agregados leves	500 - 2 000		0,03		0,05			0 a 0,25	4	15	10	1 000
Argamassa (argamassa de alvenaria e argamassa de reboco)	250 - 2 000		0,04		0,06			0 a 0,25	4	20	10	1 000

Valores gerais são dados nesta tabela. Outros valores dependentes do material e da aplicação podem ser fornecidos em tabelas nacionais.

<sup>a</sup> Ver 8.2.

<sup>b</sup> O efeito da transferência de massa por água líquida e vapor de água, e os efeitos das mudanças na fase da água, não são cobertos por esses dados. O teor de umidade é o intervalo para o qual os coeficientes são válidos.

<sup>c</sup> Os dados não são válidos quando puder existir fornecimento contínuo de umidade para o lado quente do isolamento.



Tabela 5 — Espessura da camada de ar equivalente à difusão de vapor de água

Produto/material	Espessura da camada de ar equivalente à difusão de vapor de água $s_d$ m
Polietileno 0,15 mm	50
Polietileno 0,25 mm	100
Filme de poliéster 0,2 mm	50
Folha de PVC	30
Folha de alumínio 0,05 mm	1 500
Folha de PE (grampeado) 0,15 mm	8
Papel betumado 0,1 mm	2
Papel de alumínio 0,4 mm	10
Membrana respirável	0,2
Tinta – emulsão	0,1
Tinta – brilho	3
Papel de parede de vinil	2

NOTA 1 A espessura da camada de ar equivalente à difusão de vapor de água de um produto é a espessura de uma camada de ar imóvel com a mesma resistência ao vapor de água que o produto. É uma expressão da resistência à difusão do vapor de água.

NOTA 2 A espessura dos produtos nesta tabela não é normalmente medida e eles podem ser considerados como produtos muito finos com resistência ao vapor de água. A tabela cita valores de espessura nominal como um auxílio à identificação do produto.



## Anexo A (normativo)

### Coeficientes de conversão para temperatura

Para as condutividades fornecidas nas Tabelas A.1 a A.15, utilizar interpolação linear.

Salvo especificação em contrário, os coeficientes de conversão se aplicam tanto aos produtos produzidos na fábrica, quanto aos materiais de enchimento soltos.

Os valores de condutividade térmica são dados apenas como parâmetros de identificação e não são destinados a qualquer outro propósito. Os valores nas Tabelas A.1 a A.15 são válidos para temperaturas médias entre 0 °C e 30 °C.

Os dados para poliestireno extrudado (XPS) e poliuretano (PU) são válidos para todos os agentes expansores.

Tabela 6 — Lã mineral

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Placas, mantas/rolos e preenchimento solto	0,035	0,004 6
	0,040	0,005 6
	0,045	0,006 2
	0,050	0,006 9
Placas	0,032	0,003 8
	0,034	0,004 3
	0,036	0,004 8
	0,038	0,005 3
Placas rígidas	0,030	0,003 5
	0,033	0,003 5
	0,035	0,003 5

Tabela 7 — Poliestireno expandido

Espessura $d$ mm	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
$d < 20$	0,032	0,003 1
	0,035	0,003 6
	0,040	0,004 1
	0,043	0,004 4
$20 < d < 40$	0,032	0,003 0
	0,035	0,003 4
	0,040	0,003 6



Tabela A.2 (continuação)

Espessura $d$ mm	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
$40 < d < 100$	0,032	0,003 0
	0,035	0,003 3
	0,040	0,003 6
	0,045	0,003 8
	0,050	0,004 1
$d > 100$	0,032	0,003 0
	0,035	0,003 2
	0,040	0,003 4
	0,053	0,003 7

Tabela 8 — Poliestireno extrudado

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Sem revestimento	0,025	0,004 6
	0,030	0,004 5
	0,040	0,004 5
Com revestimento, produtos celulares finos sem revestimento	0,025	0,004 0
	0,030	0,003 6
	0,035	0,003 5
Com revestimento impermeável	0,025	0,003 0
	0,030	0,002 8
	0,035	0,002 7
	0,040	0,002 6

Tabela 9 — Espuma de poliuretano

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Produtos sem acabamento	0,025	0,005 5
	0,030	0,005 0
Produtos com acabamento impermeável	0,022	0,005 5
	0,025	0,005 5

**Tabela 10 — Espuma fenólica**

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Espuma de célula fechada (> 90 %) 0 °C a 20 °C 20 °C a 30 °C <sup>a, b</sup>	até 0,025	0,002 0 0,005 0
Espuma de celular aberta de 0 °C a 30 °C	0,032	0,002 9

<sup>a</sup> Conversões devem ser aplicadas separadamente entre 0 °C e 20 °C e entre 20 °C e 30 °C. Para converter de 10 °C a 25 °C, primeiro converter de 10 °C para 20 °C e depois de 20 °C a 25 °C.

<sup>b</sup> Coeficientes de conversão se aplicam a agentes de expansão de pentano ou hidrofluorocarbono (HFC). Eles podem ser diferentes para outros agentes de expansão.

**Tabela 11 — Vidro celular**

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Todos os produtos	0,035 0,040 0,045 0,050 0,055	0,004 3 0,003 7 0,003 3 0,003 0 0,002 7

**Tabela 12 — Placas rígidas de perlite, fibras e aglutinantes**

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Todos os produtos	todas	0,003 3

**Tabela 13 — Tábuas de lã de madeira**

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Todos os produtos	0,070 0,080 0,090	0,004 0 0,004 1 0,004 6

Tabela 14 — Cortiça expandida

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Todos os produtos	todas	0,002 7

Tabela 15 — Fibra de celulose de enchimento solto

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Densidade < 40 kg/m <sup>3</sup>	todas	0,004 0
Densidade ≥ 40 kg/m <sup>3</sup>	todas	0,003 5

Tabela 16 — Concreto, argila queimada e argamassa

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Concreto leve	0,100	0,003
	0,150	0,002
	0,400	0,001
Concreto denso, argila queimada e argamassa	Todas	0,001

Tabela 17 — Silicato de cálcio

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Todos os produtos	todas	0,003





**Tabela 18 — Perlite expandida de preenchimento solto**

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Todos os produtos	0,040 0,050	0,004 1 0,003 3

**Tabela 19 — Argila expandida de enchimento solto**

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Todos os produtos	0.070 a 0.150	0,004

**Tabela 20 — Vermiculite esfoliada de preenchimento solto**

Tipo de produto	Condutividade $\lambda$ W/(m.K)	Coefficiente de conversão $f_T$ 1/K
Todos os produtos	todas	0,003

## Anexo B (informativo)

### Exemplos de cálculos

#### B.1 Introdução

Este Anexo traz três exemplos que ilustram o procedimento para derivar valores declarados ou de projeto a partir de dados disponíveis. As entradas numéricas que não são retiradas desta Norma são puramente indicativas.

#### B.2 Valor declarado determinado a partir de dez amostras medidas

Um fabricante de lã mineral tem medições de condutividade de dez amostras de placas de lã mineral. As medições foram realizadas a uma temperatura média de 11 °C. As amostras foram condicionadas a uma temperatura de 23 °C e umidade relativa de 50 %.

O valor declarado deve ser dado para uma temperatura de 10 °C e um teor de umidade igual ao que o material tem quando em equilíbrio com o ar a 23 °C e umidade relativa de 50 %.

Os resultados das medições são apresentados na Tabela B.1.

Tabela 21 — Condutividades medidas

Número da amostra $i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Condutividade de medida $\lambda$ W/(m.K)	0,033 1	0,034 3	0,034 6	0,033 8	0,033 6	0,034 1	0,033 4	0,034 2	0,033 5	0,033 9

O valor declarado deve ser um percentil de 90 % com nível de confiança de 90 %. A fórmula estatística utilizada para encontrar o limite para este intervalo de tolerância estatística unilateral,  $L_s$ , é a seguinte (ver a ISO 16269-6:2005, Anexo A):

$$L_s = \bar{\lambda} + k_2 (n; p; 1 - \alpha) s \quad (\text{B.1})$$

onde

$\bar{\lambda}$  é o valor médio;

$k_2$  é o coeficiente utilizado para determinar  $L_s$  quando o desvio-padrão é estimado para intervalo de tolerância unilateral;

$n$  é o número de amostras;



$p$  é o percentil dando a proporção mínima da população que se diz estar no intervalo de tolerância estatística;

$1 - \alpha$  é o nível de confiança para a afirmação de que a proporção da população situada no intervalo de tolerância é maior ou igual ao nível especificado  $p$ ;

$s$  é o desvio-padrão da amostra.

O valor médio,  $\lambda$ , é calculado como

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum \lambda_i}{10} = 0,03385 \quad (\text{B.2})$$

onde

$\lambda_i$  é o valor medido da amostra  $i$ .

No Anexo C, o coeficiente  $k_2$  é de 2,07 para  $n = 10$ .

O desvio-padrão,  $s$ , é calculado como

$$s = \sqrt{\frac{\sum (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}{n - 1}} = 0,000460 \quad (\text{B.3})$$

O valor-limite para o intervalo de tolerância é, então,

$$L_s = 0,03385 + 2,07 \times 0,000460 = 0,03480 \quad (\text{B.4})$$

Este valor é então convertido para 10 °C a partir da Equação (1):

$$\lambda_2 = \lambda_1 F_T \quad (\text{B.5})$$

O fator de conversão é calculado a partir da Equação (3):

$$F_T = e^{f_T(T_2 - T_1)} \quad (\text{B.6})$$

O coeficiente de conversão para placas de lã mineral com uma condutividade de 0,0348 W/(m.K) é dado na Tabela A.1 (utilizando interpolação linear):

$$f_T = 0,0045 \quad (\text{B.7})$$

O fator de conversão, então, torna-se

$$F_T = e^{0,0045(10 - 11)} = 0,99551 \quad (\text{B.8})$$



O valor convertido, então, torna-se

$$\lambda_2 = 0,034\ 80 \times 0,995\ 51 = 0,034\ 64 \quad (\text{B.9})$$

O valor declarado é arredondado para o valor superior mais próximo 0,001 W/(m.K), o que significa que

$$\lambda = 0,035\ \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \quad (\text{B.10})$$

pode ser usado como o valor declarado para este produto.

### B.3 Determinação do valor do projeto a partir do valor declarado

#### B.3.1 Geral

Uma placa de poliestireno expandida será usada em uma aplicação onde o teor de umidade é presumido ser de 0,02 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. O valor declarado para este produto, sendo um valor 90/90, é de 0,036 W/(m.K).

Dois valores de projeto diferentes são necessários, um representando o mesmo percentil que o declarado e outro representando um valor médio.

#### B.3.2 Percentil 90 %

A única conversão necessária é para o teor de umidade. Esse é calculado pela Equação (5):

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)} \quad (\text{B.11})$$

O coeficiente de conversão de umidade é dado na Tabela 4:

$$f_\psi = 4,0 \quad (\text{B.12})$$

O fator de conversão de umidade,  $F_m$ , e a condutividade térmica convertida,  $\lambda_2$ , então, tornam-se

$$F_m = e^{[4,0(0,02-0)]} = 1,083\ 3 \quad (\text{B.13})$$

$$\lambda_2 = 0,036 \times 1,083\ 3 = 0,038\ 998\ 8 \quad (\text{B.14})$$

O valor de projeto é o valor mais próximo arredondado para 0,001 W/(m.K):

$$\lambda = 0,039\ \text{W}/(\text{m} \cdot \text{K}) \quad (\text{B.15})$$

#### B.3.3 Valor médio

Um valor médio pode ser encontrado usando Equação (C.1), como apresentado na Equação (B.16):

$$\bar{\lambda} = \lambda_{90} - \Delta\lambda \quad (\text{B.16})$$



O valor  $\bar{\lambda}$  poderia ser calculado se pelo menos o número de medições e o desvio-padrão estimado fossem conhecidos.

Se este não é o caso, o valor  $\Delta\lambda$  pode ser encontrado em normas ou literatura com valores para  $\bar{\lambda}$  e  $\lambda_{90}$ .

Neste exemplo, o valor 0,002 para  $\Delta\lambda$  é usado, de modo que

$$\bar{\lambda} = 0,036 - 0,002 = 0,034 \quad (\text{B.17})$$

Este valor é então corrigido usando o mesmo fator de conversão calculado em B.3.2:

$$\lambda_2 = 0,034 \times 1,0833 = 0,0368322 \quad (\text{B.18})$$

O valor de projeto é o valor arredondado para 0,001 W/(m.K):

$$\lambda = 0,037 \text{ W/(m.K)} \quad (\text{B.19})$$

## Anexo C (informativo)

### Cálculos estatísticos

#### C.1 Geração de valores percentis

A distribuição normalmente não é conhecida, mas supõe-se que seja gaussiana. O cálculo dos intervalos de tolerância estatística (*confidence fractiles*) é realizado de acordo com a ISO 16269-6. A estimativa de médias é realizada de acordo com a ISO 2602 [1]. A comparação de duas médias é realizada de acordo com a ISO 2854.

A Tabela C.1 fornece os coeficientes  $k_1$  e  $k_2$  para um intervalo de tolerância estatística com nível de confiança ( $1 - \alpha$ , porcentagem) de 90% (percentil, p) de 50 % e 90 %.  $k_1$  é o coeficiente a ser utilizado quando o desvio-padrão é conhecido;  $k_2$  é o coeficiente a ser utilizado quando o desvio-padrão é estimado.

#### C.2 Conversão entre valores médios e percentil

Se o valor de projeto for determinado como outra estimativa estatística (90 % ou média), são utilizadas as equações (C.1) e (C.2):

$$\lambda_f = \bar{\lambda} \pm \Delta\lambda_f \quad (C.1)$$

$$R_f = \bar{R} \pm \Delta R_f \quad (C.2)$$

onde

$\lambda_f$ ,  $R_f$  são os percentis altos ou baixos;

$\Delta\lambda_f$  ou  $\Delta R_f$  é a diferença entre o valor médio e o percentil escolhido.

$\Delta\lambda_f$  e  $\Delta R_f$  podem ser encontrados a partir de uma avaliação estatística de valores medidos, ou podem ser encontrados em normas ou literatura dando valores para médias e 90 % *percentis*.



Tabela 22 — Coeficientes para intervalos de tolerância unilateral

$n$	$k_1$ $1 - \alpha = 0,90$		$k_2$ $1 - \alpha = 0,90$	
	$p = 50 \%$	$p = 90 \%$	$p = 50 \%$	$p = 90 \%$
3	0,74	2,02	1,09	4,26
4	0,64	1,92	0,82	3,19
5	0,57	1,86	0,69	2,74
6	0,52	1,81	0,60	2,49
7	0,48	1,77	0,54	2,33
8	0,45	1,74	0,50	2,22
9	0,43	1,71	0,47	2,13
10	0,41	1,69	0,44	2,07
11	0,39	1,67	0,41	2,01
12	0,37	1,65	0,39	1,97
13	0,36	1,64	0,38	1,93
14	0,34	1,63	0,36	1,90
15	0,33	1,61	0,35	1,87
16	0,32	1,60	0,34	1,84
17	0,31	1,59	0,33	1,82
18	0,30	1,58	0,32	1,80
19	0,30	1,58	0,31	1,78
20	0,29	1,57	0,30	1,77
22	0,27	1,56	0,28	1,74
25	0,25	1,54	0,26	1,70
30	0,23	1,52	0,24	1,66
35	0,22	1,50	0,22	1,62
40	0,20	1,49	0,21	1,60
45	0,19	1,47	0,19	1,58
50	0,18	1,46	0,18	1,56
75	0,15	1,43	0,15	1,50
100	0,13	1,41	0,13	1,47
200	0,09	1,37	0,08	1,40
500	0,06	1,34	0,06	1,36
1 000	0,04	1,32	0,04	1,34
$\infty$	0,00	1,28	0,00	1,28

## Anexo D (informativo)

### Lista informativa de valores térmicos para materiais em aplicações gerais de construção

A Tabela D.1 traz em valores informativos de condutividade térmica e calor específico para materiais em aplicações gerais de construção.

Tabela 23 — Valores térmicos de projeto para materiais em aplicações gerais de construção – Lista informativa

Grupo ou aplicação do material		Densidade $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Condutividade térmica de projeto $\lambda$ W/(m.K)	Calor específico $c_p$ J/(kg.K)
Cerâmicas	Tijolos e telhas de barro (maciço)	1 000 – 1 300	0,70	920
		1 300 – 1 600	0,90	920
		1 600 – 1 800	1,00	920
		1 800 – 2 000	1,05	920
Fibrocimento	Placas de fibrocimento	1 400 – 1 800	0,65	840
		1 800 – 2 200	0,95	840
Concreto celular autoclavado	-	400 – 500	0,17	1 000



## Anexo E (informativo)

### Lista informativa para materiais isolantes em aplicações gerais de construção

A Tabela E.1 traz valores informativos máximos de condutividade térmica, e calor específico para isolantes térmicos utilizados em aplicações gerais da construção.

**Tabela E.1 - Valores térmicos de projeto para materiais isolantes – Lista informativa**

Grupo ou aplicação do material		Densidade $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Condutividade térmica de projeto <sup>a</sup> $\lambda$ W/(m.K)	Calor específico $c_p$ J/(kg.K)
<b>Lã de Vidro</b>	Feltros termoisolantes à base de lã de vidro <sup>[24]</sup>	10	0,049	700
		12	0,045	700
		16	0,043	700
		20	0,040	700
		35	0,037	700
	Painéis termoisolantes à base de lã de vidro <sup>[25]</sup>	20	0,041	700
40		0,035	700	
60		0,35	700	
<b>Lã de PET<sup>[26]</sup></b>	-	7	0,075	
<b>Lã de rocha</b>	Feltros termoisolantes à base de lã de rocha <sup>[27]</sup>	32	0,050 <sup>b</sup>	750
	Painéis termoisolantes à base de lã de rocha <sup>[28]</sup>	32	0,042	750
		48	0,039	750
		64	0,035	750
<b>Polietireno expandido (EPS)<sup>[29]</sup></b>	EPS 1 e 2	10 – 12	0,046	1 420
	EPS 3	15	0,040	1 420
	EPS 4	18	0,038	1 420
	EPS 5	22	0,036	1 420
	EPS 6 e 7	29 – 38	0,034	1 420
	EPS 8	48	0,033	1 420
<b>Poliestireno extrudado (XPS)<sup>[29]</sup></b>	XPS 1	19	0,031	1 420
	XPS 2 e 3	21 – 23	0,029	1 420
	XPS 4	26	0,037	1 420
	XPS 5 a 7	29 – 48	0,029	1 420
<b>Espuma elastomérica<sup>[30]</sup></b>	Tipo 1 - convencional	-	0,060	
	Tipo 2 - alta temperatura		0,060	
	Tipo 3 - isento de halógenos		0,060	



Tabela E.1 - Valores térmicos de projeto para materiais isolantes – Lista de referência (continuação)

Grupo ou aplicação do material		Densidade $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Condutividade térmica de projeto <sup>a</sup> $\lambda$ W/(m.K)	Calor específico $c_p$ J/(kg.K)
<b>Espuma de Polietileno Expandido</b> <sup>[31]</sup>	Tipo 1 (tubos)		0,040	
	Tipo 2 (tubos com barreira de vapor adicional)		0,040	
	Tipo 3 (mantas)		0,050	
	Tipo 4 (manta com barreira de vapor adicional)		0,050	
	Tipo 5 (fita)		0,050	
<sup>a</sup> Condutividade térmica para temperaturas médias de 25 ou 24 °C				
<sup>b</sup> Condutividade térmica para temperaturas médias de 50 °C				



## **Anexo F** (informativo)

### **Risco de convecção natural em isolantes térmicos**

A convecção natural em um material isolante, com estrutura aberta, depende da permeabilidade, espessura e diferença de temperatura através do isolante térmico. Assim, considerando as condições climáticas brasileiras e os componentes construtivos usualmente adotados no país, o risco de convecção dentro do isolante, apresentado na Seção 7, é muito pequeno e, em para os componentes construtivos habituais, pode ser desprezado.

## Bibliografia

- [1] ISO 2602, *Statistical interpretation of test results — Estimation of the mean — Confidence interval*
- [2] ISO 2854, *Statistical interpretation of data — Techniques of estimation and tests relating to means and variances*
- [3] ISO 8301, *Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Heat flow meter apparatus*
- [4] ISO 8302, *Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Guarded hot plate apparatus*
- [5] ISO 9053, *Acoustics — Materials for acoustical applications — Determination of airflow resistance*
- [6] ISO 9346, *Hygrothermal performance of buildings and building materials — Physical quantities for mass transfer — Vocabulary*
- [7] ISO 10292, *Glass in building — Calculation of steady-state U values (thermal transmittance) of multiple glazing*
- [8] ISO 16269-6:2005, *Statistical interpretation of data — Part 6: Determination of statistical tolerance intervals*
- [9] EN 1745, *Masonry and masonry products — Methods for determining design thermal values*
- [10] EN 10088-1, *Stainless steels — Part 1: List of stainless steels*
- [11] EN 12524, *Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values*
- [12] EN 12664, *Thermal performance of building materials and products — Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods — Dry and moist products of medium and low thermal resistance*
- [13] EN 12667, *Thermal performance of building materials and products — Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods — Products of high and medium thermal resistance*
- [14] EN 12939, *Thermal performance of building materials and products — Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods — Thick products of high and medium thermal resistance*
- [15] ANDERSON, B.R. *et al.*, *Analysis, selection and statistical treatment of thermal properties of building materials for the preparation of harmonised design values*. Final report of the Thermal Values Group, coordinated by Building Research Establishment (BRE), UK
- [16] CAMPANALE, M., *Determination of thermal resistance of thick specimens by means of a guarded hot plate or heat flow meter*. Istituto di Fisica Tecnica, Università di Padova, Padua, Italy
- [17] CAMPANALE, M. and DE PONTE, F., *Temperature effect on steady-state heat transfer properties of insulating materials*. Istituto di Fisica Tecnica, Università di Padova, Padua, Italy
- [18] BISIOL, B., CAMPANALE, M. and MORO, L., *Theoretical and experimental characterization of insulating cork boards*. Istituto de Fisica Tecnica, Facoltà di Ingegneria, Università di Padova, Padua, Italy



- [19] CAMPANALE, M., DE PONTE, F., MORO, L. and ZARDO, V., *Separation of radiative contribution in heat transfer in polyurethanes*. Istituto de Fisica Tecnica, Università di Padova, Padua, Italy
- [20] CAMPANALE, M., DE PONTE, F. and MORO, L., *Theoretical characterization of homogeneous cellular plastic materials*. Istituto de Fisica Tecnica, Facoltà di Ingegneria, Università di Padova, Padua, Italy
- [21] DE PONTE, F., *High Temperatures — High Pressures*, Vol. **19**, 1987, pp. 237-249, Combined radiation and conduction heat transfer in insulating materials. 10 ETPC Proceedings, p. 349
- [22] KUMARAN, M.K., IEA Annex 24, *Heat, air and moisture transfer in insulated envelope parts*, Volume **3**, Task 3: Material Properties. Reviewed by Per Jostein Hovde; edited by Fatin Ali Mohamed. Final report. Leuven: Laboratorium Bouwfysica, Departement Burgerlijke Bouwkunde, 1996, ISBN 90-75741-01-4
- [23] EURIMA EUROPEAN INSULATION MANUFACTURES ASSOCIATION, *The Durability of Mineral Wool Products*, Position Paper, Brussels, November 2016.
- [24] ABNT NBR 11362:2013, Feltros termoisolantes à base de lã de vidro
- [25] ABNT NBR 11358:2013, Painéis termoisolantes à base de lã de vidro
- [26] ABNT NBR 16832:2020, Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall — Lãs de PET para isolamento térmico e acústico — Requisitos e métodos de ensaio
- [27] ABNT NBR 11722:2014, Feltros termoisolantes à base de lã de rocha
- [28] ABNT NBR 11364:2014. Painéis termoisolantes à base de lã de rocha — Especificação
- [29] ABNT NBR 11752:2016, Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial - Especificação
- [30] ABNT NBR 16630:2017, Isolantes térmicos flexíveis de espuma elastomérica pré-formados em tubos e mantas - Especificação
- [31] ABNT NBR 16474:2016, Isolante térmico em espuma de polietileno de baixa densidade expandido não reticulado pré-formado em tubos e mantas — Especificação