

NORMA
BRASILEIRA

ABNT NBR
15220-4

Primeira edição
29.04.2005

Válida a partir de
30.05.2005

Desempenho térmico de edificações Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida

Thermal performance in buildings

*Part 4: Measurements of the thermal resistance and thermal
conductivity by the guarded hot plate apparatus*

Palavras-chave: Desempenho térmico. Edificação.

Descriptors: Thermal performance. Building.

ICS 91.200



Número de referência
ABNT NBR 15220-4:2005
10 páginas

©ABNT 2005

ABNT NBR 15220-4:2005

© ABNT 2005

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito pela ABNT.

Sede da ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20003-900 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 2220-1762

abnt@abnt.org.br

www.abnt.org.br

Impresso no Brasil

Sumário

Página

Prefácio	iv
Introdução.....	v
1 Objetivo, campo de aplicação e restrições	1
1.1 Objetivo	1
1.2 Campo de aplicação.....	1
1.3 Restrições na determinação da condutividade térmica	1
2 Referências normativas	2
3 Definições.....	2
4 Princípios gerais da medição	3
5 Aparelhagem experimental.....	4
5.1 Placa quente.....	4
5.2 Placas frias.....	4
5.3 Medição das temperaturas	5
5.3.1 Aspectos gerais	5
5.3.2 Placa quente.....	5
5.3.3 Placas frias.....	6
5.3.4 Superfícies dos corpos-de-prova ($0,1 < R < 0,3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$).....	6
5.3.5 Corpos-de-prova com $R < 0,1 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	7
5.4 Isolamento do conjunto	7
6 Preparação dos corpos-de-prova.....	7
6.1 Aspectos gerais	7
6.2 Espessura.....	7
6.3 Dimensões laterais.....	8
6.4 Planicidade e paralelismo	8
7 Procedimentos de ensaio	8
7.1 Ambiente do laboratório	8
7.2 Medidas iniciais.....	9
7.3 Corpos-de-prova com resistência térmica superior a $0,3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	9
7.4 Corpos-de-prova com resistência térmica entre $0,025 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ e $0,3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$	9
8 Resultados.....	10
9 Relatório	10

ABNT NBR 15220-4:2005

Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Fórum 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 Temporárias (ABNT/CEET), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

A ABNT NBR 15220 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Construção Civil (ABNT/CB-02), pela Comissão de Estudo do Desempenho Térmico nas Edificações (CE-02:135.07). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 04, de 30.04.2004, com o número de Projeto 02:135.07-001/4.

Esta Norma é baseada nas ISO 8302:1991, ASTM C-177 e BS 874:1986.

Esta Norma, sob o título geral “Desempenho térmico de edificações”, tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Definições, símbolos e unidades;
- Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações;
- Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social;
- Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida;
- Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

Introdução

O conteúdo desta Norma é a descrição do método da placa quente protegida para a determinação da resistência e da condutividade térmicas de materiais sólidos ou granulares.

São apresentados os critérios essenciais de projeto, dimensões e tolerâncias para o conjunto de equipamentos, sendo também especificadas as exigências mínimas em termos de instrumentação.

São também apresentados em detalhes os procedimentos de medida, as condições de ensaio e o modo de preparação dos corpos-de-prova, para os diferentes materiais, especialmente os de baixa densidade e os materiais de construção civil.

São também especificadas as informações a serem fornecidas nos relatórios de ensaio.

Esta Norma está de acordo com o método correspondente das ISO 8302, ASTM C-177 e BS 874.

Desempenho térmico de edificações

Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida

1 Objetivo, campo de aplicação e restrições

1.1 Objetivo

Esta Norma estabelece o método absoluto para medição, em regime permanente, da resistência térmica e da condutividade térmica de materiais sólidos, usando-se a aparelhagem denominada placa quente protegida, tendo a placa uma largura total ou diâmetro acima de 200 mm e uma largura do anel de guarda entre 1/4 e 1/6 do diâmetro ou da largura total.

1.2 Campo de aplicação

O método se aplica para a medição, em regime permanente, da resistência térmica e da condutividade térmica de materiais sólidos ou granulares, compactados ou não, nas seguintes faixas:

- a) resistência térmica (R) acima de $0,02 \text{ m}^2\text{K/W}$;
- b) condutividade térmica (λ) abaixo de 2 W/(m.K) .

1.3 Restrições na determinação da condutividade térmica

Os materiais para os quais este método é aplicado podem ser divididos em três categorias, como segue:

- a) materiais homogêneos e isotrópicos, através dos quais o calor é transmitido somente pelo sólido, tais como plásticos densos, borrachas e vidros;
- b) materiais porosos termicamente homogêneos, através dos quais o calor pode ser transmitido por uma combinação dos processos de condução, convecção e radiação, como no caso de materiais fibrosos, celulares e granulares;
- c) materiais termicamente não homogêneos, através dos quais o calor pode ser transmitido por condução ou uma combinação de modos como na alínea b), formando estruturas compostas, de modo que o transporte de calor não seja uniforme através deles.

NOTA Materiais termicamente homogêneos no contexto desta seção são materiais cuja condutividade térmica em qualquer temperatura não seja afetada por uma mudança no gradiente de temperatura, na espessura ou na área dos corpos-de-prova. Materiais que contêm uma distribuição aleatória de inclusões ou cavidades de pequenas dimensões em relação à espessura dos corpos-de-prova são considerados como homogêneos. Este, porém, não é o caso de corpos-de-prova compostos que distorcem a distribuição do fluxo de calor.

A condutividade térmica pode ser considerada como propriedade intrínseca dos materiais classificados na categoria (a) e nenhuma restrição se aplica à sua determinação por este método.

Por outro lado a condutividade térmica não pode ser considerada como propriedade intrínseca dos materiais classificados na categoria (b). Porém, considerando que estes materiais são termicamente homogêneos, o conceito de uma condutividade térmica pode ser empregado para descrever o seu comportamento em aplicações práticas diversas.

ABNT NBR 15220-4:2005

O comportamento de materiais termicamente não homogêneos, categoria (c), não pode em nenhuma circunstância ser descrito em termos de condutividade térmica. Somente se pode fazer referência a uma resistência térmica dos corpos-de-prova sob as condições de ensaio, ou seja, a uma espessura, a um gradiente de temperatura e emissividades particulares das superfícies envolvidas.

Para materiais isolantes de baixa densidade, nos quais a radiação é um modo importante de transferência de calor, a espessura dos corpos-de-prova pode influenciar no valor da propriedade medida. A metodologia de ensaio destes materiais é detalhada nas ASTM C-177 e BS 874.

2 Referências normativas

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das normas em vigor em um dado momento.

ABNT NBR 15220-1:2005 – Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades.

ISO 8302:1991 – Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Guarded hot-plate apparatus.

BS 874:1986 – Methods for determining thermal insulating properties – Part 2: Tests for thermal conductivity and related properties – Section 2.1: Guarded Hot-Plate Method.

ASTM C-177:1997 – Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the guarded hot plate apparatus.

3 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as definições, símbolos e abreviaturas da ABNT NBR 15220-1 e as seguintes:

3.1 condutividade térmica: Quociente do fluxo de calor pelo gradiente de temperatura nos corpos-de-prova, conforme a seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{q/A}{\Delta T/e} \quad \dots 1)$$

Onde:

q é o fluxo de calor por condução através de um corpo-de-prova de espessura e e área A , em regime permanente, sujeita a uma diferença de temperatura ΔT entre as faces, calculada pela expressão:

$$q = \frac{\lambda \cdot A}{e} \Delta T \quad \dots 2)$$

3.2 resistência térmica: Valor obtido pela expressão:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad \dots 3)$$

4 Princípios gerais da medição

A determinação da condutividade térmica por este método envolve a medição do gradiente de temperatura médio estabelecido sobre o corpo-de-prova, a partir de um certo fluxo de calor e em condições de regime permanente.

A condução unidimensional é conseguida a partir do uso de um anel de guarda (figura 1), de modo a restringir as perdas laterais de calor e tendo-se o comportamento térmico de uma placa infinita.

A placa quente é formada por duas seções de aquecimento independentes, sendo a central denominada de seção de medição e a externa de anel de guarda. Este é separado da seção de medição por um espaço de 1,5 mm a 2,0 mm. Pode ser assumido um fluxo de calor unidimensional na seção de medição quando sensores de temperatura instalados nesta e no anel de guarda indicarem o mesmo valor.

Um anel de guarda lateral pode ainda ser usado de forma a reduzir as perdas de calor laterais. Este anel de guarda deve ser controlado de forma a se manter a uma temperatura igual à temperatura média dos corpos-de-prova.

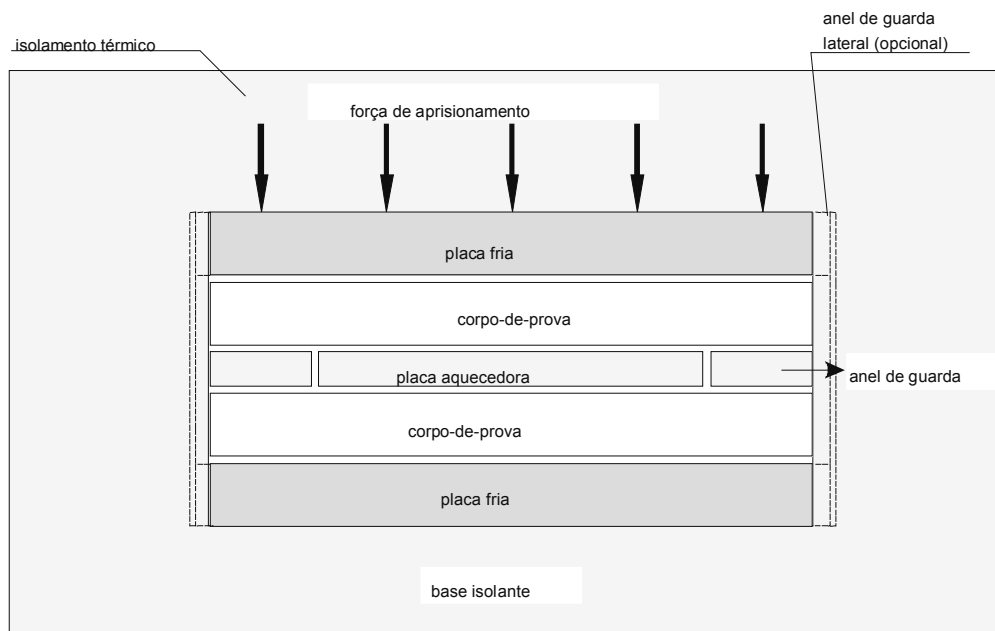


Figura 1 — Montagem do conjunto

Conforme mostrado na figura 1, dois corpos-de-prova idênticos, com superfícies planas e paralelas, são dispostos horizontalmente em cada lado da placa quente central e colocados entre as duas placas frias isotérmicas.

Placas de borracha deformável são introduzidas entre as superfícies dos corpos-de-prova e as placas do equipamento, sempre que necessário, de modo a melhorar o contato térmico entre estas superfícies.

Para minimizar as perdas de calor, o conjunto é envolvido por isolante e colocado em uma caixa, que pode ser selada quando se fizerem medições com as temperaturas das placas frias próximas ou abaixo da temperatura de ponto de orvalho do ar ambiente.

Com as placas frias controladas a uma temperatura apropriada, fornece-se uma potência elétrica constante, estabilizada, na seção de medição da placa quente, de modo a estabelecer, em regime permanente, uma diferença de temperatura adequada através dos corpos-de-prova.

ABNT NBR 15220-4:2005

Um equilíbrio de temperatura entre a seção de medição e o anel de guarda é conseguido através de um controle manual ou automático da potência do anel. Somente a potência dissipada na seção de medição é usada na determinação das propriedades térmicas dos corpos-de-prova.

A diferença média de temperatura através dos corpos-de-prova é determinada usando-se os termopares montados nas suas superfícies.

NOTA Para ensaios a temperatura média de até 100°C, recomenda-se que a diferença entre as temperaturas das faces dos corpos-de-prova estejam compreendidas entre 15 K e 20 K. Para ensaios a temperaturas mais elevadas, esta diferença pode ser maior.

5 Aparelhagem experimental

5.1 Placa quente

Pode ser redonda ou quadrada, com diâmetro ou lado de pelo menos 200 mm. A razão entre a largura do anel de guarda e a dimensão da placa quente deve se situar entre 1:4 e 1:6.

As superfícies da seção de medição e do anel de guarda devem ser planas e usinadas conjuntamente, de modo a se situarem no mesmo plano, sendo separadas por uma fenda de dimensões entre 1,5 mm e 2,0 mm. O conjunto deve ser firmemente ligado, evitando-se, porém, as pontes térmicas entre a seção central e o anel de guarda.

As duas superfícies da placa quente devem ser planas, com uma tolerância de 1/3000 de sua largura e tratadas de modo a ter uma emissividade total hemisférica em ondas longas não inferior a 0,9.

Para determinar a temperatura da seção de medição e para estabelecer o equilíbrio de temperatura entre esta e o anel de guarda, podem ser utilizados termopares, conforme detalhes e distribuição descritos em 5.4.1 e 5.4.2.

A potência elétrica fornecida deve ser estabilizada, usualmente corrente contínua e constante em pelo menos $\pm 0,1\%$ durante toda a medição. A precisão na medição da potência não deve exceder $\pm 0,25\%$.

O anel de guarda pode também ser alimentado por uma fonte de estabilidade equivalente, projetado para permitir um ajuste manual fino ou por uma fonte de potência similar conectado a um controlador de temperatura. O sinal para o controle da temperatura pode ser derivado de uma série de termopares diferenciais colocados entre a seção de medição e o anel de guarda.

5.2 Placas frias

Podem ser fabricadas de metal com alta condutividade térmica, como cobre ou alumínio, e refrigeradas através da circulação de um líquido à temperatura constante. Estas placas devem ter as mesmas dimensões da placa quente.

As superfícies de contato com os corpos-de-prova devem ser planas, dentro de 1/3000 da sua largura total e ter uma emissividade hemisférica em ondas longas não menor do que 0,9.

O fluido de refrigeração deve ser capaz de manter as superfícies das placas frias a uma temperatura constante, com uma variação menor do que $\pm 0,1^\circ\text{C}$ durante a medição.

NOTAS

1 Para aumentar a uniformidade de temperatura, o canal de passagem do fluido na placa pode ter a forma de uma dupla espiral, a qual permite o fluido circular em direções opostas ao longo da superfície (figura 2).

2 Pode ser utilizado um aquecedor auxiliar entre a placa fria e os corpos-de-prova, com o objetivo de elevar a temperatura média de ensaio. Este aquecedor deve apresentar as mesmas características quanto à planicidade, condutividade e uniformidade da placa quente principal, porém sem a fenda.

5.3 Medição das temperaturas

5.3.1 Aspectos gerais

Para a medição de temperatura os termopares devem ser calibrados individualmente ou podem ser utilizados termopares fabricados a partir de um estoque de fios já calibrados.

Todos os termopares devem estar em contato com as superfícies dos corpos-de-prova em pelo menos 20 mm do comprimento a partir de suas junções.

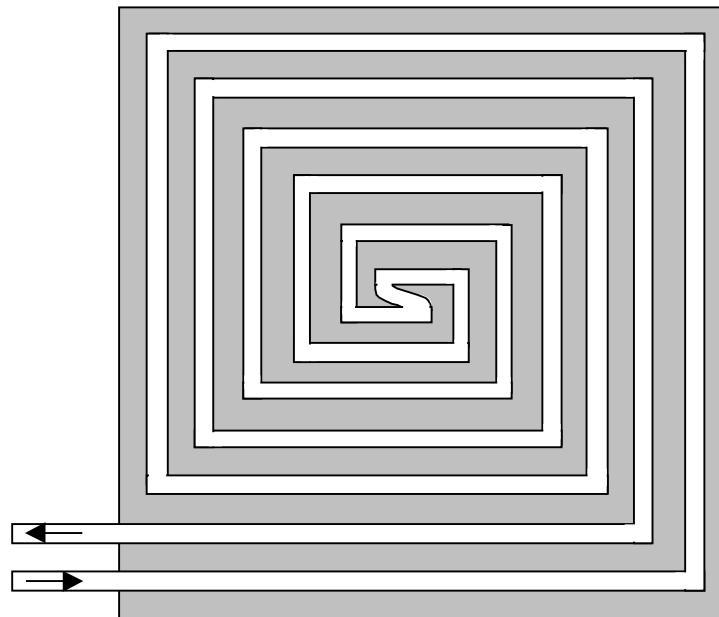


Figura 2 — Esquema de fabricação das placas frias

5.3.2 Placa quente

No caso de placas quadradas, os termopares podem ser localizados em pontos situados a uma distância entre $1/4$ e $1/3$ da largura do núcleo, em relação ao canto, como mostrado na figura 3(a).

Se forem utilizados termopares diferenciais para monitorar as diferenças de temperatura entre a seção de medição e o anel de guarda, será necessário um mínimo de quatro termopares para cada superfície, localizados simetricamente em relação à fenda de separação e afastados em 5 mm desta fenda (figura 3 (b)).

ABNT NBR 15220-4:2005

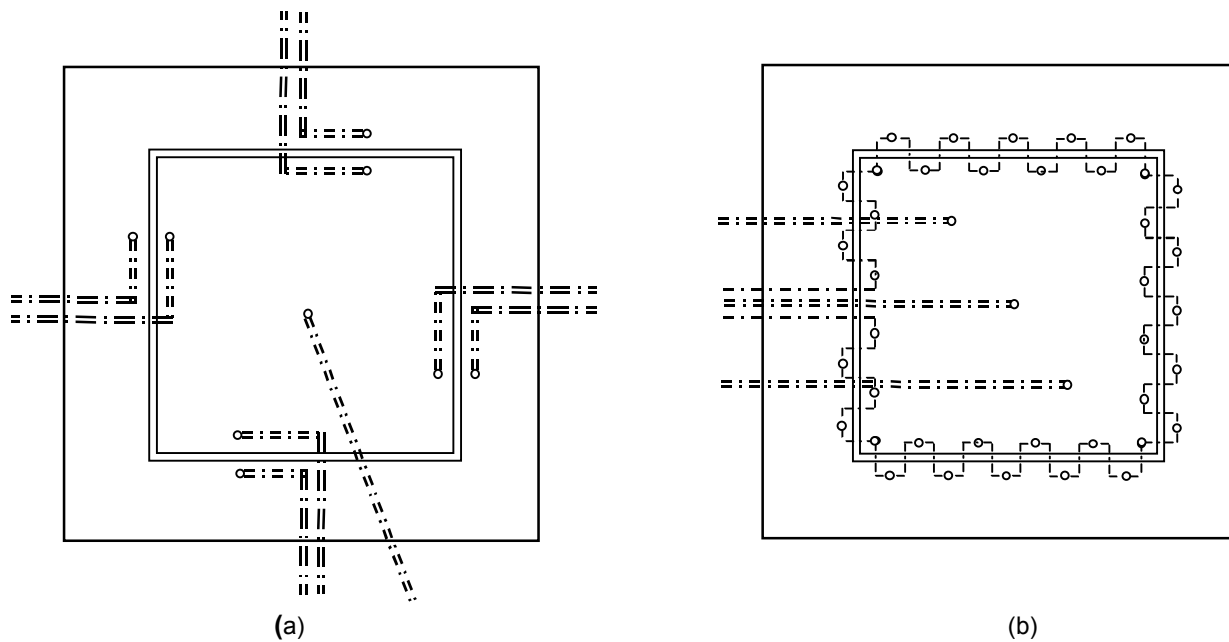


Figura 3 — Disposição dos termopares na placa quente

A resistência elétrica entre os termopares e as placas deve ser maior que 20 M Ω .

NOTA Uma termopilha típica compreende 20 termopares diferenciais, feitos com fios de 0,1 mm de diâmetro.

5.3.3 Placas frias

Devem-se usar termopares conforme descrito em 5.3.1. A quantidade e disposição de termopares colocados nas superfícies de cada placa devem ser idênticas àquelas utilizadas na seção central da placa quente.

Devem ser previstas ranhuras para a colocação destes termopares.

5.3.4 Superfícies dos corpos-de-prova ($0,1 < R < 0,3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$)

Quando os corpos-de-prova tiverem uma resistência (R) na faixa acima, devem ser previstas placas de borracha compressíveis para facilitar um bom contato térmico entre as superfícies. São necessários termopares adicionais colocados nas superfícies dos corpos-de-prova para a medição direta de suas temperaturas. Estes termopares devem estar dispostos na região central e em um número mínimo de quatro termopares por face, posicionados na superfície de maneira simétrica aos da face oposta.

NOTAS

- 1 Recomenda-se que os termopares sejam achatados perto de suas junções, de modo a melhorar o contato térmico e de modo a minimizar a sua penetração dentro das placas de borracha referidas acima.
- 2 Para materiais não porosos, pode ser aplicada uma camada fina de pasta térmica entre os termopares e as superfícies dos corpos-de-prova, de modo a melhorar o contato térmico.

5.3.5 Corpos-de-prova com $R < 0,1\text{m}^2\text{K/W}$

Neste caso, os termopares devem, se possível, ser colados em canaletas estreitas e rasas, feitas nas superfícies dos corpos-de-prova. Estas canaletas devem ter profundidade constante x , de modo que a espessura efetiva dos corpos-de-prova, e' , possa ser calculada pela seguinte expressão:

$$e' = e + p - 2x$$

Onde:

e é a espessura dos corpos-de-prova;

p é a espessura média das junções dos termopares.

5.4 Isolamento do conjunto

O equipamento deve ser isolado em toda a sua extensão com pelo menos 100 mm de isolante granulado, ou ainda com pelo menos 150 mm no caso de placas com dimensões superiores a 500 mm.

Se a temperatura do ensaio for muito maior do que a temperatura ambiente, recomenda-se utilizar um anel de guarda lateral controlado independentemente, de modo que a sua temperatura média seja igual à temperatura média dos corpos-de-prova.

Para evitar a condensação, o envoltório que contém o equipamento e o isolante deve ser selado. No caso das placas frias serem mantidas próximas ao ponto de orvalho do ar ambiente, deve-se utilizar um dessecante.

6 Preparação dos corpos-de-prova

6.1 Aspectos gerais

Os corpos-de-prova devem ser representativos do material a ser caracterizado e devem ser ensaiados em temperaturas próximas às suas condições de uso.

Na ausência de especificações, os corpos-de-prova devem ser condicionados em um dessecador ou em uma estufa ventilada, na temperatura apropriada. Neste caso o percentual de perda de umidade deve ser registrado.

6.2 Espessura

A espessura dos corpos-de-prova deve ser representativa do material a ser caracterizado, ou seja, deve ser várias vezes maior do que o diâmetro dos poros ou das partículas do material componente.

A espessura mínima dos corpos-de-prova deve ser de 25 mm.

O fluxo lateral de calor nos corpos-de-prova não é um problema sério para materiais de condutividade moderada a alta, de modo que corpos-de-prova de até 75 mm de espessura são aceitáveis em certas circunstâncias, mesmo quando a largura do anel de guarda for de somente 50 mm

Por outro lado, o fluxo de calor lateral pode acarretar grandes incertezas no caso de ensaio de materiais de baixa condutividade térmica.

Assim sendo, no caso dos equipamentos que não possuem aquecedores laterais auxiliares, recomenda-se que a máxima espessura para materiais isolantes de baixa densidade seja igual à largura do anel de guarda para ensaios realizados próximos à temperatura ambiente.

No caso de uso de anéis de guarda auxiliares, a espessura dos corpos-de-prova pode ser aumentada.

ABNT NBR 15220-4:2005

NOTAS

1 O limite inferior da espessura é recomendado não somente para minimizar as incertezas da própria espessura e da diferença de temperatura medida, mas também para reduzir as incertezas provenientes da distorção do campo térmico. Este efeito é particularmente importante no caso de materiais que possuam uma condutividade térmica mais elevada, podendo também reduzir os efeitos não lineares associados à transmissão da radiação térmica, os quais são importantes em isolantes de baixa densidade.

2 O limite superior é imposto em função da necessidade de se estabelecer um fluxo de calor unidimensional na seção de medição dos corpos-de-prova.

3 As espessuras dos corpos-de-prova utilizados não devem diferir em mais de 2%.

O instrumento usado para a medição da espessura dos corpos-de-prova deve ter uma resolução de pelo menos $\pm 0,025\text{mm}$, em toda a faixa de medida.

Para materiais compressíveis, a espessura pode ser obtida com pequenos espaçadores de altura conhecida, fabricados a partir de um material isolante não deformável. Estes espaçadores devem ser colocados na região de borda do anel de guarda. Materiais granulares soltos podem ser dispostos no interior de suportes especiais, feitos de materiais de baixa condutividade térmica, tais como madeira leve.

A espessura de materiais semicompressíveis, como poliestireno expandido, pode ser medida na própria aparelhagem, já sob carga e na temperatura média de ensaio.

Em cada caso, deve-se tomar cuidado para assegurar um contato uniforme entre os corpos-de-prova e as superfícies do equipamento.

A espessura média dos corpos-de-prova rígidos deve ser determinada a partir de pelo menos oito medidas em posições bem distintas sobre as superfícies. A espessura média de corpos-de-prova deformáveis e em forma de grãos deve ser determinada a partir da distância média de separação entre as placas quente e fria.

6.3 Dimensões laterais

As dimensões laterais dos corpos-de-prova devem ser, na medida do possível, iguais às das placas aquecedoras e frias. Se forem menores, a diferença deve ser no máximo de 1%. Tamanhos maiores não são um problema neste equipamento, se a condutividade dos corpos-de-prova não for muito diferente daquela do material isolante que os envolve. Para materiais de moderada a alta condutividade, as dimensões laterais podem ser excedidas em no máximo 10 mm.

6.4 Planicidade e paralelismo

O desvio da planicidade das superfícies dos corpos-de-prova não deve ser superior a 0,2 mm sobre toda a largura deles.

NOTA Se o material tiver uma condutividade térmica de moderada a alta, pode ser exigida uma tolerância menor. A variação da espessura ao longo de um corpo-de-prova não deve exceder 2% da sua espessura média.

7 Procedimentos de ensaio

7.1 Ambiente do laboratório

Durante as medições o ar ambiente do laboratório deve ser mantido a uma temperatura constante, com uma tolerância de $\pm 2^\circ\text{C}$.

7.2 Medidas iniciais

As dimensões dos corpos-de-prova devem ser verificadas, conforme especificado na seção 6. Os corpos-de-prova devem ser pesados, determinando-se as suas densidades.

7.3 Corpos-de-prova com resistência térmica superior a $0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$

Este é o caso de materiais isolantes celulares ou fibrosos.

Ao serem inseridos no equipamento, os corpos-de-prova devem ser alinhados com as placas quente e frias, sendo que devem ser usados espaçadores no caso de materiais compressíveis. Para materiais rígidos, deve ser aplicada uma carga sobre o conjunto, determinando-se a espessura dos corpos-de-prova sob pressão e na temperatura de equilíbrio, quando a espessura puder sofrer variações.

O isolamento elétrico dos vários elementos deve ser verificado. Quando estiver satisfatório, deve-se colocar o isolamento térmico ao redor do conjunto, selando-o quando for necessário (ver 5.5).

Os ensaios podem então ser iniciados, conforme o procedimento seguinte:

- a) ajustar o termostato para o controle de temperatura da água fria e ligar a bomba de circulação;
- b) ajustar a voltagem fornecida para o aquecimento da seção de medição da placa quente, de acordo com a diferença de temperatura requerida;
- c) reajustá-la quando necessário, fazendo ao mesmo tempo o ajuste de temperatura do anel de guarda, seja manualmente ou seja através do controlador, de modo a zerar a diferença de temperatura entre ambos;
- d) quando o equilíbrio for atingido, determinar a diferença de temperatura entre as faces dos corpos-de-prova, através da leitura dos termopares dispostos na seção de medição;
- e) fazer as leituras finais somente quando quatro séries de leitura sucessivas, separadas por um intervalo de 30 min, indicarem que o regime permanente foi atingido.

Pequenas flutuações aleatórias podem ocorrer, mas a condutividade térmica calculada deve ficar dentro de uma variação menor do que 0,5%. O ensaio deve ser rejeitado se, em cada face da seção de medição, o desvio de qualquer temperatura individual em relação à média naquela face for maior que $\pm 0,15 \text{ K}$.

NOTA Recomenda-se que a diferença de temperatura nos corpos-de-prova seja de 15 K a 20 K.

Como uma alternativa para estabelecer o equilíbrio de temperatura entre a seção de medição e o anel de guarda, pode-se fazer quatro medições, sendo duas com o anel um pouco mais aquecido do que a seção de medição e duas ao contrário, dentro de uma faixa de $\pm 0,3\text{K}$. Colocar em um gráfico os valores aparentes da condutividade ou da resistência térmica em função da diferença de temperatura, interpolando o valor da condutividade para uma diferença de temperatura nula entre a seção de medição e o anel de guarda, supondo que o comportamento seja linear.

Os corpos-de-prova devem ser pesados imediatamente após o ensaio para determinar possíveis ganhos ou perdas de umidade. Se o conteúdo de umidade, expresso como uma fração de volume v/V , sendo v o volume de água e V o volume do corpo-de-prova, for maior do que 0,2%, então uma anotação deve constar no relatório de ensaio.

7.4 Corpos-de-prova com resistência térmica entre $0,025\text{m}^2\text{K/W}$ e $0,3\text{m}^2\text{K/W}$

Este é o caso de, por exemplo, plásticos densos, vidros e materiais de construção.

ABNT NBR 15220-4:2005

Pode ser usado o mesmo procedimento descrito em 7.3, porém introduzindo-se uma placa de material compressível nas interfaces entre os corpos-de-prova e as placas, de modo a se obter um contato térmico uniforme.

As diferenças de temperatura devem ser medidas através de no mínimo quatro termopares colocados diretamente sobre cada face dos corpos-de-prova.

Para a secagem dos corpos-de-prova, pode-se utilizar uma estufa ventilada e aquecida a uma temperatura que não altere as características do material. Os corpos-de-prova devem então ser resfriados dentro de um dessecador e pesados a temperatura ambiente, obtendo-se assim o peso dos corpos-de-prova secos.

NOTA Recomenda-se que uma diferença mínima de 15 K a 20 K entre as faces do corpos-de-prova seja usada nestas medições.

8 Resultados

A condutividade térmica pode ser obtida diretamente da equação da condução em regime permanente em parede plana, equação 3.1.

Os equipamentos construídos e operados segundo esta Norma são capazes de determinar as propriedades térmicas de materiais homogêneos e isotrópicos, com uma incerteza de medição menor do que 3% e um grau de repetibilidade maior do que 1%.

Para materiais não homogêneos como concretos, o grau de incerteza pode aumentar em função da presença de poros, agregados etc.

9 Relatório

As seguintes informações devem constar no relatório de ensaio:

- a) nome e descrição do material ensaiado;
- b) método utilizado no ensaio;
- c) resistência ou condutividade térmica medida, com o grau estimado de incerteza e temperatura média dos corpos-de-prova durante o ensaio;
- d) detalhes relativos ao acondicionamento dos corpos-de-prova, suas densidades no estado seco e os conteúdos de umidade, quando for o caso;
- e) dimensões, massa e densidade dos corpos-de-prova;
- f) detalhes acerca das medidas usadas para reduzir a resistência térmica de contato e de como o conjunto é mantido sob pressão;
- g) temperaturas das faces quentes e frias dos corpos-de-prova;
- h) temperatura ambiente e umidade relativa;
- i) detalhes sobre as anormalidades na composição e na textura dos corpos-de-prova e nas suas dimensões que venham a afetar os resultados dos ensaios;
- j) data do ensaio;
- k) referência a esta Norma.