



## Métodos de ensaios comuns para os materiais de isolamento e de cobertura de cabos elétricos

### Parte 2: Métodos para aplicação geral — Métodos de envelhecimento térmico

#### APRESENTAÇÃO

1) Este Projeto foi elaborado pela Comissão de Estudo de Métodos de Ensaio para Cabos Elétricos (CE-003:020.006) do Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-003), com número de Texto-Base 003:020.006-116/2, nas reuniões de:

13.09.2022	11.10.2022	20.12.2022
14.02.2023		

a) não tem valor normativo.

2) Aqueles que tiverem conhecimento de qualquer direito de patente devem apresentar esta informação em seus comentários, com documentação comprobatória.

3) Analista ABNT – Newton Ferraz.



## Métodos de ensaios comuns para os materiais de isolamento e de cobertura de cabos elétricos

### Parte 2: Métodos para aplicação geral — Métodos de envelhecimento térmico

*Common test methods for electrical cable insulation and covering materials  
Part 2: Methods for general application — Thermal aging methods*

#### 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 pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

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 17173-2 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-003), pela Comissão de Estudo de Métodos de Ensaio para Cabos Elétricos (CE-003:020.006). 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 17173-2 é o seguinte:

#### Scope

*This Part of ABNT NBR 17173 specifies the test methods for polymeric materials for insulation and sheathing of electrical cables for power distribution and for telecommunications, including cables for use on board ships and for offshore applications.*

*This Part of ABNT NBR 17173 provides heat aging methods, which apply to the most common types of insulation and sheathing compounds (elastomeric, PVC, PE, PP etc.).*



## Métodos de ensaios comuns para os materiais de isolamento e de cobertura de cabos elétricos

### Parte 2: Métodos para aplicação geral — Métodos de envelhecimento térmico

#### 1 Escopo

Esta Parte da ABNT NBR 17173 especifica os métodos de ensaios para materiais poliméricos de isolamento e cobertura de cabos elétricos para distribuição de energia e para telecomunicações, incluindo os cabos para uso a bordo de navios e para aplicações *offshore*.

Esta Parte da ABNT NBR 17173 fornece os métodos de envelhecimento térmico que se aplicam aos tipos mais comuns de compostos de isolamento e cobertura (elastoméricos, PVC, PE, PP etc.).

#### 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).

ABNT NBR 5456, *Eletricidade geral – Terminologia*

ABNT NBR 5471, *Condutores elétricos*

ABNT NBR 6251, *Cabos de potência com isolamento extrudado para tensões de 1 kV a 35 kV – Requisitos construtivos*

ABNT NBR 17173-1:2024, *Métodos de ensaios comuns para os materiais de isolamento e de cobertura de cabos elétricos – Parte 1: Métodos para aplicação geral – Medição de espessuras e dimensões externas – Ensaio para a determinação das propriedades mecânicas*

ABNT NBR 17173-4:2024, *Métodos de ensaios comuns para os materiais de isolamento e de cobertura de cabos elétricos – Parte 4: Métodos para aplicação geral – Ensaio a baixas temperatura*

ABNT NBR 17173-7:2024, *Métodos de ensaios comuns para os materiais de isolamento e de cobertura de cabos elétricos – Parte 7: Métodos específicos para os compostos de PVC – Ensaio de perda de massa – Ensaio de estabilidade térmica*

#### 3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições das ABNT NBR 5456, ABNT NBR 5471 e ABNT NBR 6251, e o seguinte.

##### 3.1

##### valor mediano

valor central se o número de valores disponíveis for ímpar, ou a média aritmética dos dois valores centrais, se o número de valores for par, quando diversos resultados de ensaio são obtidos e ordenados em uma sucessão crescente ou decrescente



## 4 Condições gerais

### 4.1 Valores para os ensaios

**4.1.1** Esta Parte da ABNT NBR 17173 não inclui as condições completas dos ensaios (como temperaturas, durações etc.), nem os requisitos completos dos ensaios, que devem constar nas normas correspondentes a cada tipo de cabo.

**4.1.2** Qualquer requisito de ensaio estabelecido nesta Parte da ABNT NBR 17173 pode ser modificado pela norma do cabo correspondente, para satisfazer seus requisitos particulares.

### 4.2 Aplicação

Os valores de condicionamento e os parâmetros de ensaio especificados nesta Parte da ABNT NBR 17173 aplicam-se aos tipos mais comuns de compostos para isolamento e cobertura, bem como aos tipos mais comuns de condutores, cabos e cordões.

### 4.3 Ensaio de tipo e outros ensaios

Os métodos de ensaio descritos nesta Parte da ABNT NBR 17173 destinam-se essencialmente ao uso em ensaios de tipo. Para determinados ensaios, podem existir diferenças importantes entre as condições para ensaios de tipo e para ensaios mais frequentes, como ensaios de rotina. Nestes casos, essas diferenças devem ser indicadas.

### 4.4 Precondicionamento

Todos os ensaios devem ser realizados, no mínimo, 16 h após a extrusão ou vulcanização (ou reticulação), se for o caso, do composto de isolamento ou cobertura.

### 4.5 Temperatura de ensaio

Exceto se especificado diferentemente, os ensaios devem ser realizados à temperatura ambiente.

## 5 Métodos de envelhecimento térmico

### 5.1 Envelhecimento em estufa a ar

#### 5.1.1 Generalidades

**5.1.1.1** Um tratamento de envelhecimento em estufa a ar pode ser requerido pela norma correspondente ao cabo:

- para corpos de prova preparados unicamente com o material da isolamento ou da cobertura (ver 5.1.3.1);
- para corpos de prova preparados com as veias (condutor e isolamento) (ver 5.1.3.2 e subseções seguintes, se necessário);
- para corpos de prova de cabo completo (ver 5.1.4);
- para o ensaio de perda de massa (ver ABNT NBR 17173-7:2024, Seção 5).

**5.1.1.2** Os ensaios de envelhecimento [ver 5.1.1-a)] e de perda de massa [ver 5.1.1-d)] podem ser realizados de forma combinada com os mesmos corpos de prova.

### **5.1.2 Equipamento de Ensaio**

Deve ser utilizada uma estufa a ar com circulação de ar natural ou forçada. O ar deve entrar na estufa de modo que ele escoe sobre os corpos de prova e saia pelas proximidades do topo da estufa. A estufa deve proporcionar no mínimo oito e no máximo 20 trocas completas de ar por hora, na temperatura de envelhecimento especificada. Em 5.4 são apresentados dois métodos de medição da vazão de ar em uma estufa.

Não pode ser usado ventilador no interior da estufa.

### **5.1.3 Procedimento para corpos de prova preparados**

#### **5.1.3.1 Envelhecimento de corpos de prova preparados a partir do material isolante sem o condutor e do material de cobertura**

**5.1.3.1.1** O envelhecimento deve ser realizado em uma atmosfera com composição e pressão do ar ambiente.

**5.1.3.1.2** Os corpos de prova, como especificados na ABNT NBR 17173-1:2024, Seção 6, devem ser suspensos verticalmente na parte essencialmente central da estufa, de modo que cada corpo de prova fique situado a pelo menos 20 mm de distância um do outro.

**5.1.3.1.3** Se algum dos corpos de prova for destinado ao ensaio de perda de massa, os corpos de prova não podem ocupar mais de 0,5 % do volume da estufa.

**5.1.3.1.4** Os corpos de prova devem ser mantidos na estufa na temperatura e tempo especificados para o material na norma correspondente ao tipo de cabo considerado.

**5.1.3.1.5** Corpos de prova de composições substancialmente diferentes não podem ser ensaiados ao mesmo tempo.

**5.1.3.1.6** Logo após ser completado o período de envelhecimento, os corpos de prova devem ser retirados da estufa e deixados à temperatura ambiente, por pelo menos 16 h, evitando-se luz solar direta.

**5.1.3.1.7** O ensaio de tração deve ser realizado em seguida, de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.7, tanto para a isolação quanto para a cobertura.

#### **5.1.3.2 Envelhecimento de corpos de prova de veias preparados com o condutor original**

**5.1.3.2.1** Se, após o envelhecimento, o condutor e o separador, se existir, puderem ser removidos sem danificar a isolação, o procedimento deve ser conforme descrito a seguir. Amostras de veia, cortadas em pedaços suficientemente longos, devem ser retiradas, de preferência de posições próximas daquelas das quais são retiradas amostras para os ensaios de tração sem envelhecimento (ver ABNT NBR 17173-1). Em seguida, as amostras devem ser envelhecidas conforme descrito em 5.1.3.1 e, após isso, cinco corpos de prova devem ser preparados de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.3, devendo as áreas de suas seções transversais ser determinadas de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.4. O ensaio de tração deve ser então realizado de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.6 e 6.1.7.



**5.1.3.2.2** Se não for possível remover o condutor ou o separador, se existir, após o procedimento de envelhecimento, sem danificar a isolamento, devem ser aplicados a preparação e o método de ensaio apropriados indicados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Preparação e método de ensaio apropriados caso não seja possível a remoção do condutor ou do separador**

Classe do condutor de cobre e forma do condutor	Sumário de diretrizes para os ensaios de envelhecimento para condutores isolados com EPR 90 °C ou XLPE 90 °C de cabos de baixa tensão, nos casos de dificuldades na preparação de corpos de prova devido à aderência da isolamento ou do separador ao condutor durante o envelhecimento
Classe 1: cobre nu	Ver 5.1.3.3 ou, se esse método também acarretar problemas de aderência, ver 5.1.3.4. O envelhecimento seguido de ensaio de dobramento deve ser considerado critério de aceitação em caso de contestação
Classe 1: cobre revestido	Ver 5.1.3.4
Classe 1: com separador sobre o condutor	Ver 5.1.3.4
Classe 2: condutores circulares de seção até 16 mm <sup>2</sup> , inclusive, constituídos por fios de cobre nu ou revestido, com um separador envolvendo o condutor	Ver 5.1.3.4
Classe 2: condutores de seção acima de 16 mm <sup>2</sup> , circulares ou não circulares, constituídos por fios de cobre nu ou revestido	Ver 5.1.3.5
NOTA No caso de ensaio de dobramento (ver 5.1.3.4), as condições de envelhecimento podem ser diferentes daquelas requeridas para a determinação das propriedades de resistência à tração (ver 5.1.3.2, 5.1.3.3 e 5.1.3.5). Ver norma correspondente ao cabo considerado.	

**5.1.3.3 Envelhecimento de corpos de prova tipo tubular com um condutor sólido de cobre nu, com diâmetro reduzido**

**5.1.3.3.1** Após a preparação de cinco corpos de prova, de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.3.2, um pedaço de condutor sólido de cobre nu, com diâmetro reduzido em até 10 %, deve ser inserido novamente em cada um deles. Isto pode ser realizado por estiramento do condutor original ou pelo uso de um condutor com o diâmetro menor requerido.

**5.1.3.3.2** Em seguida esses corpos de prova devem ser envelhecidos conforme descrito em 5.1.3.1 e, após isso, o condutor deve ser removido e a área da seção transversal dos corpos de prova tipo tubular e deve ser determinada de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.4. Em seguida devem ser determinadas as propriedades de tração conforme a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.6 e 6.1.7.



#### 5.1.3.4 Envelhecimento e ensaio de dobramento de corpos de prova de veias

##### 5.1.3.4.1 Amostragem e preparação dos corpos de prova

Devem ser retiradas duas amostras com comprimento suficiente de cada veia a ser ensaiada, de preferência de posições próximas daquelas das quais são retiradas as amostras para os ensaios de tração sem envelhecimento (ver ABNT NBR 17173-1).

##### 5.1.3.4.2 Procedimento de envelhecimento

Os corpos de prova devem ser colocados na parte essencialmente central da estufa, de modo que cada corpo de prova fique situado a pelo menos 20 mm de distância um do outro. Os corpos de prova devem ser suportados pelas duas extremidades e a isolação não pode contactar qualquer outro objeto. Os corpos de prova não podem ocupar mais que 2 % do volume da estufa e devem ser mantidos na estufa na temperatura e tempo especificados na norma correspondente ao tipo de cabo.

##### 5.1.3.4.3 Procedimento de dobramento

Logo após completado o período de envelhecimento, os corpos de prova devem ser retirados da estufa e deixados à temperatura ambiente, evitando-se a luz solar direta, por pelo menos 16 h.

Cada corpo de prova deve então ser dobrado, à temperatura ambiente, em torno de um mandril, de modo a formar uma hélice fechada.

O dobramento deve ser realizado de maneira uniforme, à razão de uma volta a cada 5 s, aproximadamente.

O dobramento pode ser realizado com a aparelhagem descrita na ABNT NBR 17173-4:2024, 5.1.3.

O diâmetro do mandril deve ser igual a  $f$  vezes o diâmetro da veia. Os valores de  $f$ , bem como o número de voltas ao redor do mandril, são especificados na Tabela 2.

Tabela 2 – Fator  $f$  e número de voltas

Seção transversal do condutor mm <sup>2</sup>	Fator $f$	Número de voltas
Inferior ou igual a 2,5	$1 \pm 0,1$	7
4 e 6	$2 \pm 0,1$	6
10 e 16	$4 \pm 0,1$	5

##### 5.1.3.4.4 Requisito

No final do procedimento de dobramento, os corpos de prova devem ser examinados ainda enrolados sobre o mandril. A isolação de ambos os corpos de prova não pode apresentar rachaduras, quando examinados por visão normal ou corrigida sem aumento algum.

Rachaduras na primeira ou na última volta sobre o mandril não podem ser consideradas.

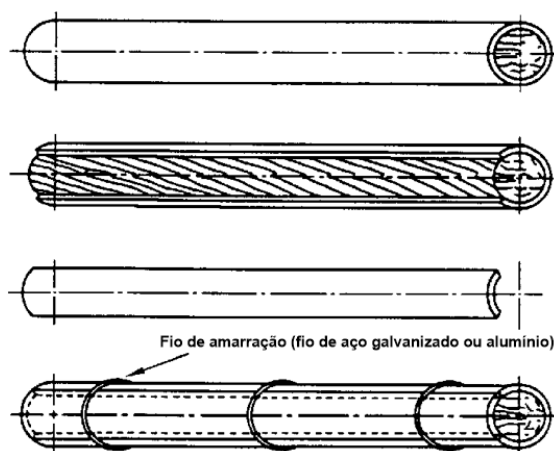


### 5.1.3.5 Envelhecimento de corpos de prova de veias especialmente preparados

#### 5.1.3.5.1 Amostragem e preparação dos corpos de prova

Devem ser retiradas três amostras com cerca de 200 mm de comprimento de cada veia a ser ensaiada, de preferência de posições próximas daquelas das quais são retiradas as amostras para os ensaios de tração sem envelhecimento (ver ABNT NBR 17173-1).

No caso de veias com formato setorial, deve ser cortada da parte circular do setor uma tira da isolação da amostra com pelo menos 10 mm de largura, longitudinalmente e separadamente do condutor. Em seguida, essa tira deve ser recolocada na posição original e fixada no meio do corpo de prova por uma amarração com fio adequado, a cerca de 20 mm de cada extremidade, de tal maneira que a tira fique novamente em bom contato com o condutor (ver Figura 1).



**Figura 1 – Preparação dos corpos de prova para veias com formato setorial**

Para veias com condutores circulares, um procedimento similar deve ser utilizado, sendo que, para seções pequenas (por exemplo, 25 mm<sup>2</sup>), pode ser separada até a metade da isolação.

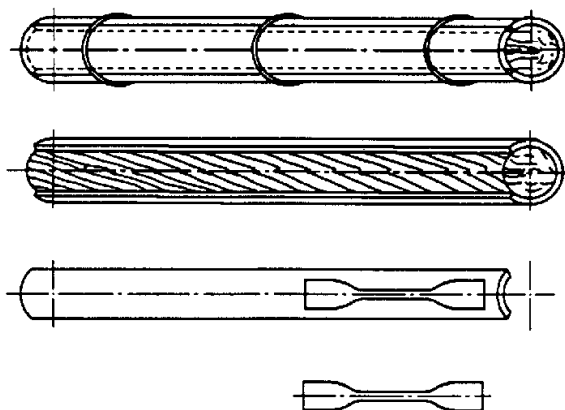
#### 5.1.3.5.2 Procedimento de envelhecimento

Os corpos de prova especialmente preparados devem ser colocados na parte essencialmente central da estufa, de modo que cada corpo de prova fique situado a pelo menos 20 mm de distância um do outro. Os corpos de prova devem ser suportados pelas duas extremidades, e a isolação não pode contactar qualquer outro objeto que não seja o fio de amarração. Os corpos de prova não podem ocupar mais que 2 % do volume da estufa, devendo então ser mantidos na estufa na temperatura e tempo especificados na norma correspondente ao tipo de cabo.

Logo após completado o período de envelhecimento, os corpos de prova devem ser removidos da estufa e deixados à temperatura ambiente, evitando-se a luz solar direta, por pelo menos 16 h, e então devem ser desmontados. Dois corpos de prova tipo borboleta de cada amostra devem ser preparados de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.3, conforme mostra a Figura 2, e a área de sua seção transversal deve ser determinada conforme a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.4.

Em seguida, deve ser realizado o ensaio de tração de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.6 e 6.1.7.





**Figura 2 – Preparação dos corpos de prova tipo borboleta**

#### **5.1.4 Procedimento para amostras de cabo completo**

**5.1.4.1** Devem ser preparadas três amostras de cabo completo com cerca de 200 mm de comprimento, de preferência em posições próximas àquelas das quais foram extraídas as amostras para os ensaios de tração sem envelhecimento (ver ABNT NBR 17173-1).

**5.1.4.2** As amostras de cabo devem ser suspensas verticalmente e essencialmente na parte central da estufa, estando cada uma a uma distância de pelo menos 20 mm de qualquer outra amostra, e não podem ocupar mais que 2 % do volume da estufa.

**5.1.4.3** As amostras de cabo devem ser mantidas na estufa na temperatura e tempo especificados na norma correspondente ao tipo de cabo.

**5.1.4.4** Logo após completado o período de envelhecimento, as amostras devem ser removidas da estufa e deixadas à temperatura ambiente, por pelo menos 16 h, evitando-se luz solar direta.

**5.1.4.5** As três amostras devem então ser desmontadas. Dois corpos de prova devem ser preparados da isolamento de cada veia (até um máximo de três veias) e da cobertura de cada amostra de cabo, conforme especificado na ABNT NBR 17173-1:2024, Seção 6, de modo a se obter um total de seis corpos de prova de cada veia e seis da cobertura.

**5.1.4.6** Se for necessário cortar ou esmerilhar os corpos de prova para reduzir sua espessura a não mais de 2 mm, essa operação deve ser efetuada, tanto quanto possível, do lado que não estava em contato com o material de tipo diferente no cabo completo. As irregularidades no lado que estava em contato com material de tipo diferente devem ser cortadas ou polidas. O material removido deve ser o mínimo necessário para a obtenção de sua superfície lisa.

**5.1.4.7** Os corpos de prova, após a medição de suas seções transversais e a realização do condicionamento, devem ser submetidos ao ensaio de tração, de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, Seção 6.

#### **5.2 Envelhecimento em bomba a ar**

**5.2.1** Os corpos de prova, preparados conforme especificado na ABNT NBR 17173-1:2024, Seção 6, devem ser colocados em uma bomba a ar, à temperatura ambiente, sem que haja contato entre eles. Os corpos de prova não podem ocupar mais de 1/10 da capacidade efetiva da bomba.



**5.2.2** Corpos de prova de composições substancialmente diferentes não podem ser ensaiados ao mesmo tempo.

**5.2.3** A bomba deve ser preenchida com ar, isento de óleo e umidade, até ser atingida uma pressão de  $0,55 \text{ MPa} \pm 0,02 \text{ MPa}$ .

**5.2.4** Os corpos de prova devem permanecer na bomba, na temperatura e tempo especificados na norma correspondente ao tipo de cabo.

**5.2.5** Logo após completado o período de envelhecimento, a pressão da bomba deve ser diminuída gradualmente, de modo a atingir a pressão atmosférica em tempo não inferior a 5 min, a fim de evitar a formação de porosidade nos corpos de prova. Os corpos de prova devem então ser retirados da bomba e deixados à temperatura ambiente, por pelo menos 16 h, evitando-se luz solar direta.

**5.2.6** O ensaio de tração deve ser realizado de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.6 e 6.1.7.

### **5.3 Envelhecimento em bomba a oxigênio**

**5.3.1** Os corpos de prova, preparados conforme especificado na ABNT NBR 17173-1:2024, Seção 6, devem ser colocados na bomba a oxigênio, à temperatura ambiente, sem que haja contato entre eles. Os corpos de prova não podem ocupar mais de 1/10 da capacidade efetiva da bomba.

**5.3.2** Corpos de prova de composições substancialmente diferentes não podem ser ensaiados ao mesmo tempo.

**5.3.3** A bomba deve ser preenchida com oxigênio comercial, de pureza não inferior a 97 %, até ser atingida uma pressão de  $2,1 \text{ MPa} \pm 0,07 \text{ MPa}$ .

**5.3.4** Os corpos de prova devem permanecer na bomba, na temperatura e tempo especificados na norma correspondente ao tipo de cabo.

**5.3.5** Logo após completado o período de envelhecimento, a pressão da bomba deve ser diminuída gradualmente, de modo a ser atingida a pressão atmosférica em tempo não inferior a 5 min, a fim de evitar a formação de porosidade nos corpos de prova.

**5.3.6** Os corpos de prova devem ser retirados da bomba e deixados à temperatura ambiente, evitando-se luz solar direta, por pelo menos 16 h.

**5.3.7** O ensaio de tração deve ser realizado de acordo com a ABNT NBR 17173-1:2024, 6.1.6 e 6.1.7.

### **5.4 Métodos de medição do fluxo de ar em estufas**

#### **5.4.1 Método 1: Método indireto ou do consumo de potência**

**5.4.1.1** Neste método, a potência adicional requerida para manter a estufa a uma temperatura determinada, com suas aberturas de ventilação abertas, em relação à potência requerida para manter a estufa à mesma temperatura, com as aberturas fechadas, é utilizada como medida da vazão de ar que passa pelas aberturas de ventilação, quando estiverem abertas. A potência média ( $P_1$  watts) requerida para manter a temperatura da estufa a uma determinada temperatura de envelhecimento especificada, quando as aberturas estiverem abertas, é determinada durante um período igual ou superior a 30 min. As aberturas de ventilação (e o orifício para o termômetro, se necessário) são então

fechadas, e é determinada a potência média ( $P_2$  watts) para manter a estufa à mesma temperatura, por um período similar. A diferença entre a temperatura da estufa e a temperatura ambiente deve ser a mesma para os dois ensaios, com tolerância de 0,2 °C. Medir a temperatura ambiente em um ponto distante cerca de 2 m da estufa, aproximadamente no nível de sua base, e distante pelo menos 0,6 m de qualquer objeto sólido.

**5.4.1.2** A quantidade de ar que flui através da estufa, quando as aberturas de ventilação estiverem abertas, é dada pelas seguintes equações:

$$m = \frac{P_1 - P_2}{C_p \cdot (t_2 - t_1)}$$

$$V = \frac{3600 \cdot m}{d}$$

onde

$C_p$  é o calor específico do ar, à pressão constante (1,003 J/g.°C);

$t_1$  é a temperatura ambiente, expressa em graus Celsius (°C);

$t_2$  é a temperatura da estufa, expressa em graus Celsius (°C);

$P_1 - P_2$  é a diferença de consumo de potência, conforme determinado em 5.4.1.1, expressa em watts (W);

$m$  é a vazão em massa de ar, expressa em gramas por segundo (g/s);

$V$  é a vazão em volume de ar, expressa em litros por hora (L/h);

$d$  é a densidade do ar no laboratório, durante o ensaio, expressa em gramas por litro (g/L).

NOTA A densidade do ar, a 760 mm de Hg e 20 °C, é igual a 1,205 g/L.

Desta forma:

$$V = \frac{3590 \cdot (P_1 - P_2)}{d \cdot (t_2 - t_1)}$$

Por esta equação é assumido que, quando as aberturas estiverem fechadas, não há fluxo de ar através da estufa. Portanto, não pode haver fugas de ar. A guarnição de vedação da porta à prova de fuga de ar deve estar selada com fita adesiva, e todas as aberturas, incluindo a porta de entrada, devem estar fechadas de forma eficaz.

**5.4.1.3** Se o consumo de potência for medido com um wattímetro, o período de tempo total, em segundos, no qual os aquecedores da estufa estão “ligados” deve ser medido com cronômetro, devendo a leitura do wattímetro ser efetuada uma vez a cada período “ligado”.

A média das leituras de potência, em watts, multiplicada pelo tempo total registrado pelo cronômetro e dividida pelo tempo de duração do ensaio, em segundos, é considerada a potência, em watts, requerida para manter a temperatura constante.



**5.4.1.4** Se for usado um medidor de energia em watts-hora ou quilowatts-hora, a leitura do consumo total de energia registrada pelo medidor deve ser dividida pelo tempo de duração do ensaio, medido em fração de hora. Se for usado um medidor de quilowatts-hora do tipo doméstico, as divisões do indicador são muito grandes para permitir que se obtenha uma exatidão suficiente em um ensaio de duração relativamente curta e, assim, o disco rotativo com que esses medidores são equipados deve ser usado como o indicador de potência consumida. O medidor deve ser colocado em operação até que a marca indicadora esteja em posição oposta ao centro do visor; ele deve então ser desconectado até o início do ensaio.

Para reduzir a possibilidade de erro, o período de ensaio deve ser suficientemente longo, de forma a permitir 100 revoluções do disco, e o ensaio deve ser finalizado de preferência quando a marca indicadora do disco estiver visível. Entretanto, se, no final do ensaio, a marca estiver fora do alcance visual, deve-se adicionar uma fração de revolução estimada. O ensaio deve ser iniciado e finalizado nas posições correspondentes a um “liga ou desliga” no ciclo térmico (por exemplo, no instante em que os aquecedores são ligados pelo termostato).

#### **5.4.2 Método 2: Método direto e contínuo – Descrição da aparelhagem**

Este método parte da fonte de alta pressão, isto é, de um sistema de tubos ou cilindros de ar.

##### **5.4.2.1 Regulador de pressão de ar**

O regulador de pressão de ar é um dispositivo que reduz a pressão de alimentação do ar de um valor elevado para os valores baixos necessários, de forma a alimentar a estufa.

O regulador deve ser equipado com uma válvula ajustável que permita uma vazão à pressão constante.

##### **5.4.2.2 Medidor de fluxo de ar**

O medidor de fluxo de ar é um dispositivo capaz de medir o fluxo de ar. Ele é mostrado na Figura 3 e opera em base a um princípio manométrico, com:

- um tubo capilar com diâmetro interno calibrado de cerca de 2 mm e comprimento calibrado de cerca de 70 mm. A Figura 4 mostra um diagrama típico de calibração que permite o controle do fluxo de ar até 500 L/h ou 600 L/h;
- um tubo manométrico com graduação dupla, com escala de diferença de pressão entre 0 e  $\pm 300$  mm de água. Água destilada é o líquido manométrico.

##### **5.4.2.3 Estufa a ar**

Estufa a ar a ser operada quando cuidadosamente vedada, incluindo vedação em torno do tubo de entrada, que entra após ser assegurado que ela esteja na estufa, de preferência pela sua parte inferior. O orifício de saída do fluxo de ar, que convém que esteja no topo da estufa, deve ser o único orifício a ser aberto.

**NOTA** Os dois aspectos a seguir permitem facilitar a confiabilidade do método e do equipamento:

- o medidor de fluxo de ar descrito em 5.4.2.2 pode ser considerado plenamente confiável, fácil de fabricar e de calibrar, assim como adequado para as vazões de ar envolvidas;
- conforme demonstrado por ensaios, a adoção de uma ventilação ligeiramente “forçada” não altera, na prática, a uniformidade da temperatura nos diversos pontos das estufas.

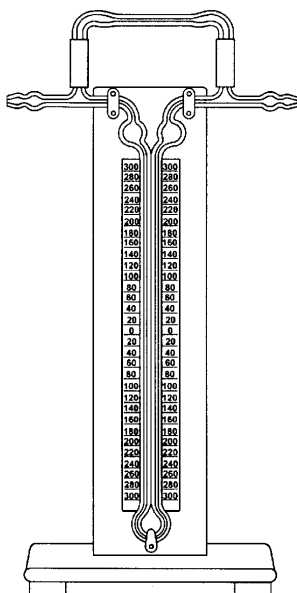


Figura 3 – Medidor de fluxo para controle do fluxo de ar em estufas a ar pelo Método 2

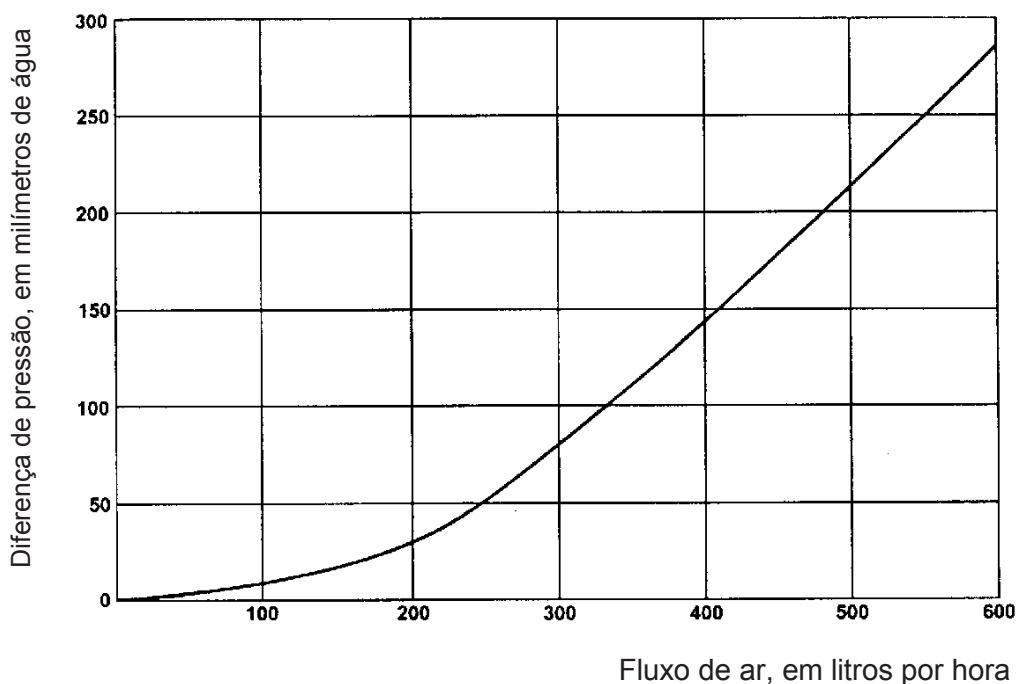


Figura 4 – Diagrama de calibração do tubo capilar (diâmetro:  $d = 2,0$  mm; comprimento:  $L = 70$  mm) do medidor de fluxo para controle do fluxo de ar em estufas pelo Método 2