

CETESB	DUTOS E CHAMINÉS DE FONTES ESTACIONÁRIAS DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DOS EFLUENTES  Método de ensaio	L9.224  AGO/93
--------	---	----------------------

SUMÁRIO	Pág.
1 Objetivo.....	1
2 Normas complementares.....	2
3 Definições.....	2
4 Aparelhagem.....	2
5 Execução do ensaio.....	3
6 Resultados.....	10

## 1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma prescreve o método de determinação da umidade dos efluentes em dutos e chaminés de fontes estacionárias de poluição do ar.

1.2 Esta Norma prescreve quatro variantes do método: método de referência, método de fluxo saturado ou com gotículas, método aproximado, e método de bulbo úmido e bulbo seco. Devem ser escolhidos de acordo com as características do fluxo e/ou necessidades de precisão na informação.

1.2.1 O método de referência deve ser utilizado quando o fluxo não está saturado e/ou não contém gotículas.

1.2.2 O método de fluxo saturado ou com gotículas deve ser utilizado quando o fluxo está saturado e/ou contém gotículas.

1.2.3 O método aproximado pode ser utilizado nos casos em que se deseja uma informação prévia, sem muita precisão, como, por exemplo, para o estabelecimento das condições de amostragem. Este método só se aplica para fluxo não saturado e que não contém gotículas.

1.2.4 O método de bulbo úmido e bulbo seco pode ser utilizado nos casos em que se deseja uma informação prévia, sem muita precisão, como, por exemplo, para o estabelecimento das condições de amostragem.

Nota: Casos especiais terão seus resultados validados após estudo e aprovação pelo órgão oficial de defesa do meio ambiente.

## 2 NORMAS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

- Norma CETESB L9.221 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias  
Determinação dos pontos de amostragem
- Norma CETESB L9.222 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias  
Determinação da velocidade e vazão dos gases
- Norma CETESB E16.030 - Dutos e chaminés de fontes estacionárias  
Calibração dos equipamentos utilizados na amostragem de efluentes

## 3 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma, são adotadas as definições de 3.1 a 3.3.

### 3.1 Fluxo saturado

Aquele em que a pressão parcial do vapor do líquido em questão é igual à pressão do vapor saturado do mesmo líquido à mesma temperatura.

### 3.2 Pressão de vapor saturado

Máxima pressão exercida pelo vapor de um determinado líquido sobre sua superfície líquida no estado de equilíbrio vaporização/condensação, numa determinada temperatura.

### 3.3 Condição normal (de um gás)

Pressão de 101325 Pa (760 mmHg) e temperatura de 273 K.

## 4 APARELHAGEM

Para a execução do ensaio é necessária a aparelhagem indicada a seguir.

### 4.1 No caso do método de referência:

- a) sonda, de material compatível com a corrosividade e temperatura do meio, provida de Pitot, de filtro para retenção do material particulado, de termopar e de sistema de aquecimento que evite a condensação do vapor durante a amostragem;
- b) condensador, composto de quatro borbulhadores ligados em série com conexões de vidro ou de outro material não contaminante, provido de termômetro na saída do quarto borbulhador com menor divisão de 1°C. Os dois primeiros borbulhadores devem conter volumes conhecidos de água; o terceiro deve estar vazio e o quarto conter sílica-gel ou outro dessecante equivalente;
- c) banho de gelo picado ou outro sistema de resfriamento equivalente;
- d) sistema de medição e controle, composto basicamente de:
  - vacuômetro;
  - válvulas de agulha para controle do fluxo;
  - bomba de vácuo;
  - gasômetro seco, provido de termômetros na entrada e saída com menor divisão de 1°C;
  - placa de orifício;
  - manômetro diferencial.

- e) barômetro de mercúrio ou aneróide, com menor divisão de 266,6 Pa (2 mmHg);
- f) proveta graduada com menor divisão de 1 mL e balança com menor divisão de 0,5 g que permita a pesagem do borbulhador com sílica-gel;
- g) termômetro com menor divisão de 1°C cujo elemento sensível, ou termopar, é aquele acoplado à sonda (ver alínea a);
- h) cronômetro.

4.2 No caso do método de fluxo saturado ou com gotículas, a aparelhagem é a indicada em a), e), g) do 4.1 e manômetro diferencial. Nesse método, o sensor do termopar deve ser protegido por um anteparo de forma a evitar que as gotículas entrem em contato direto com o sensor.

4.3 No caso do método aproximado, a aparelhagem é a indicada em 4.1, com exceção do seguinte:

- a) o condensador deve ser composto de dois borbulhadores de 30 ml, ligados em série, provido na sua saída de um tubo de secagem com sílica-gel ou com outro dessecante;
- b) o sistema de medição e controle deve ser composto de válvula de agulha para controle do fluxo, rotâmetro para vazões de zero a três litros por minuto, bomba de vácuo e gasômetro seco.

## 5 EXECUÇÃO DO ENSAIO

### 5.1 Método de referência

#### 5.1.1 Princípio do método

Esta variante consiste em medir a umidade contida na amostra, condensando a parcela condensável e absorvendo em sílica-gel, o não condensado.

#### 5.1.2 Procedimento

5.1.2.1 Escolher uma sonda de comprimento adequado para que se tenha acesso a todos os pontos de amostragem.

5.1.2.2 Colocar aproximadamente 100 g de água no primeiro e segundo borbulhadores e 200 g de dessecante no quarto; deixar o terceiro vazio. Tarar os quatro borbulhadores. Alternativamente, colocar 100 mL de água nos dois primeiros borbulhadores, deixar o terceiro vazio e cerca de 200 g de um dessecante no quarto. Tarar o quarto borbulhador.

5.1.2.3 Quantificar e localizar os pontos de amostragem de acordo com a Norma CETESB L9.221. Marcar adequadamente a sonda, de forma que as marcas resistam às condições do fluxo gasoso.

5.1.2.4 Montar o trem de amostragem como mostra a Figura 1.

5.1.2.5 Ligar e regular o sistema de aquecimento para uma temperatura de  $120 \pm 10^\circ\text{C}$ .

5.1.2.6 Colocar gelo no sistema de resfriamento do condensador.

5.1.2.7 Determinar o perfil de velocidade no duto ou na chaminé de acordo com a Norma CETESB L9.222.

5.1.2.8 Verificar se o trem de amostragem apresenta vazamento, fechando a entrada da sonda e produzindo uma depressão de 50663 Pa (380 mmHg). A taxa de vazamento não deve exceder 0,60 L/min nem 4% da vazão média de amostragem.

5.1.2.9 Anotar a indicação do gasômetro.

5.1.2.10 Posicionar a boquilha no primeiro ponto, ligar a bomba e ajustar o fluxo mantendo a vazão de aspiração proporcional à velocidade do efluente gasoso no ponto.

5.1.2.11 Para cada ponto de amostragem anotar todos os parâmetros que constam na folha de campo da Figura 2.

5.1.2.12 O tempo total mínimo de amostragem dever ser de 60 min, o volume mínimo de 600 L, na condição normal e tempo de coleta por ponto, 2,5 min.

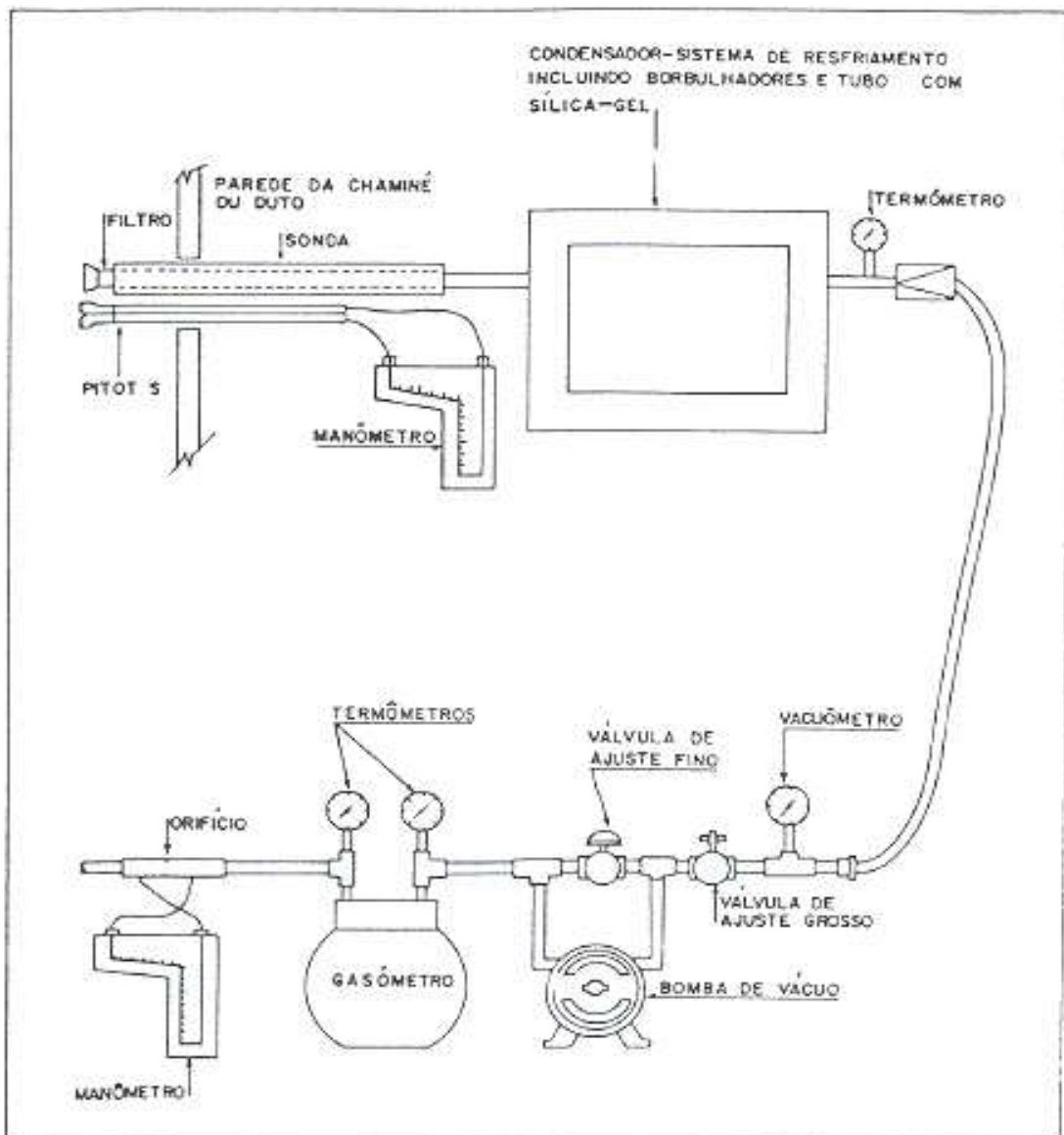


FIGURA 1 - Trem de amostragem para o método de referência.

5.1.2.13 Durante a amostragem adicionar gelo para manter a temperatura abaixo de 20°C na saída do quarto borbulhador.

NÚMERO DO PONTO	TEMPO DE COLETA (h:m:s)	TEMP DA CHAMINÉ (°C)	PRESSÃO NO GRIFICO (cm H <sub>2</sub> O)	LEITURA NO GASÔMETRO (L)	QUBM	TEMP NO GASÔMETRO		TEMPERATURA DO GÁS NA SAÍDA DO ÚLTIMO BORBUHADORA (°C)
						ENTRADA (°C)	SAÍDA (°C)	
TOTAL								
MÉDIA								

FÁBRICA  
PROCESSO  
OPERADOR  
DATA  
HORA  
AMOSTRAÇÃO Nº  
TEMP. AMBIENTE  
PRESSÃO BAROMÉTRICA  
LEITURA INICIAL NO GASÔMETRO:

COMP. DA BOMBA  
PRESSÃO ESTÁTICA  
BOMBA Nº  
CAIXA MEDIDORA Nº  
CIX. DE BORBUHADORES Nº  
FAZOR DE CALIBRAÇÃO DO GASÔMETRO (PI)  
VAZAMENTO  
TERMOVAR

ESQUEMA DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO DUTO OU CHAMINÉ

FIGURA 2 - Modelo de folha de campo para o método de referência

5.1.2.14 Depois da coleta pesar os borbuhadores e determinar a variação de massa de cada um com precisão de 0,5 g. Anotar todos os dados que constam na Figura 3. Alternativamente, medir a variação de volume (ver 5.1.2.2) dos três primeiros borbuhadores e pesar o quarto.

5.1.2.15 Calcular os resultados conforme item 6.1.

## 5.2 Método do fluxo saturado ou com gotículas

### 5.2.1 Princípio do método

Determina-se a temperatura média da seção transversal do duto ou chaminé e a pressão absoluta (pressão barométrica + pressão estática). A partir destas informações, obtém-se a umidade utilizando tabelas de pressão de vapor de saturação ou cartas psicrométricas. Os fluxos que contêm gotículas são considerados saturados.

INDÚSTRIA:		
DATA:		
AMOSTRAGEM EM:		
	ÁGUA COLETADA	
	BOBBULHADORES	BOBBULHADOR COM SÍLICA-GEL
	g	g
FINAL		
INICIAL		
DIFERENÇA		

FIGURA 3 - Modelo de folha de anotações de água coletada para o método de referência

### 5.2.2 Procedimento

5.2.2.1 Escolher uma sonda de tipo e comprimento adequados, de modo que se tenha acesso a todos os pontos de amostragem.

5.2.2.2 Quantificar e localizar os pontos de amostragem de acordo com a Norma CETESB L9.221. Marcar adequadamente a sonda, de forma que as marcas resistam às condições do fluxo gasoso.

5.2.2.3 Proteger o sensor do termômetro e posicionar nos pontos determinados no item anterior. Registrar as leituras obtidas e determinar a temperatura média.

5.2.2.4 Determinar a pressão estática da seção transversal e a pressão barométrica local.

5.2.2.5 Determinar a pressão de vapor de saturação entrando-se na Tabela com a temperatura média.

5.2.2.6 Calcular os resultados conforme item 6.2.

### 5.3 Método aproximado

#### 5.3.1 Princípio do método

Consiste em medir a umidade contida na amostra, admitindo-se que o não condensado represente 2,5% (em volume) do gás que deixa o condensador.

TABELA - Pressão de vapor de água saturado em Pa (mmHg)

Temperatura °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1226,6 (9,20)	1322,5 (9,92)	1422,5 (10,67)	1475,5 (11,07)	1553,2 (11,65)	1705,2 (12,79)	1830,5 (13,73)	1965,2 (14,74)	2034,5 (15,26)	2181,1 (16,36)
20	2333,1 (17,50)	2502,4 (18,77)	2679,8 (20,10)	2770,4 (20,78)	2963,7 (22,23)	3173,1 (23,80)	3353,1 (25,15)	3611,7 (27,09)	3730,4 (27,98)	3979,7 (29,85)
30	4243,6 (31,83)	4520,9 (33,91)	4815,6 (36,12)	4967,6 (37,26)	5286,2 (39,65)	5620,9 (42,16)	5976,8 (44,83)	6376,8 (47,83)	6542,1 (49,07)	6948,7 (52,12)
40	7375,4 (55,32)	7822,0 (58,67)	8292,6 (62,20)	8536,6 (64,03)	9048,6 (67,87)	9580,5 (71,86)	10141,8 (76,07)	10731,1 (80,49)	11036,4 (82,78)	11669,7 (87,53)
50	12333,6 (92,51)	13004,3 (97,54)	13758,8 (103,20)	14134,8 (106,02)	14920,1 (111,91)	15736,0 (118,03)	16593,3 (124,46)	17490,5 (131,19)	17954,5 (134,67)	18913,1 (141,86)
60	19915,6 (149,38)	20962,2 (157,23)	22055,5 (165,43)	22620,7 (169,67)	23786,0 (178,41)	25004,5 (187,55)	26,275, 1 (197,08)	27599,0 (207,01)	28280,3 (212,12)	29688,1 (222,68)
70	31154,7 (233,68)	32685,2 (245,16)	34270,4 (257,05)	35082,4 (263,14)	36775,5 (275,84)	38536,7 (289,05)	40365,9 (302,77)	42261,7 (316,99)	43244,3 (324,36)	45276,3 (339,60)
80	47341,3 (355,09)	49509,1 (371,35)	51778,3 (388,37)	-	-	-	-	-	-	-

### 5.3.2 Procedimento

5.3.2.1 Colocar 5 mL de água em cada um dos dois borbulhadores de 30 mL e pesá-los com precisão de 0,5 g.

5.3.2.2 Escolher uma sonda de tipo e comprimento adequados de modo que se alcance o centro da seção ou um ponto afastado no mínimo 1 metro da parede do duto ou chaminé.

5.3.2.3 Montar o trem de amostragem como mostra a Figura 4.

5.3.2.4 Verificar se o trem de amostragem apresenta vazamento colocando um vacuômetro na entrada da sonda; ligar a bomba de vácuo produzindo uma depressão no sistema de forma que ao se fechar a válvula situada após a saída do rotâmetro e desligar a bomba, o vacuômetro registre pelo menos 33330 Pa (250 mmHg). A depressão indicada no vacuômetro deverá permanecer constante durante pelo menos um minuto. Retirar o vacuômetro cuidadosamente antes de abrir a saída do rotâmetro para evitar o refluxo.



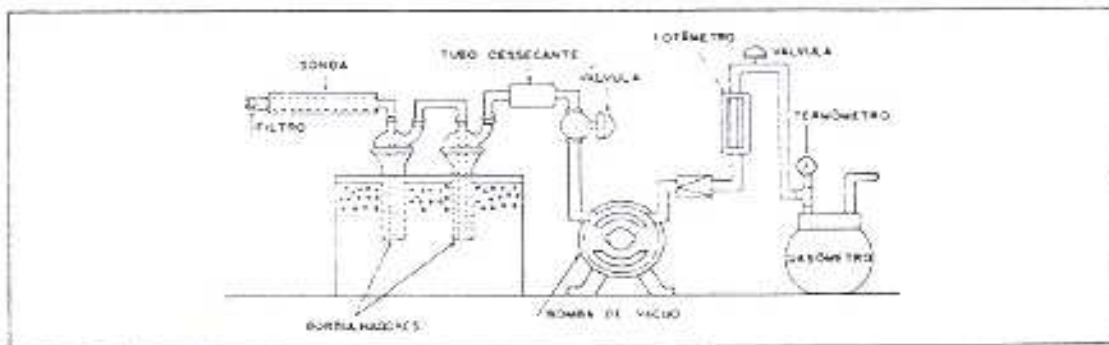


FIGURA 4 - Trem de amostragem para o método aproximado

5.3.2.5 Efetuar a amostragem no centro da seção transversal ou em um ponto afastado pelo menos 1 metro da parede da chaminé ou duto a uma vazão constante de cerca de dois litros por minuto. Prosseguir a amostragem até que o gasômetro indique uma passagem de cerca de 30 litros ou até que se observe o carreamento de gotículas do primeiro para o segundo borbulhador. Anotar todos os dados numa folha de campo como a da Figura 5.

INDÚSTRIA:  
 ENSAIO Nº:  
 DATA:  
 OPERADOR:  
 PRESSÃO ATMOSFÉRICA:  
 LEITURA INICIAL NO GASÔMETRO:

TEMPO DE CÓLITA min	LEITURA NO GASÔMETRO m <sup>3</sup>	vazão m <sup>3</sup> /Min	TEMPERATURA °C

FIGURA 5 - Modelo de folha de campo para o método aproximado

5.3.2.6 Depois de concluída a coleta, pesar os dois borbulhadores com precisão de 0,5 g.

5.3.2.7 Calcular os resultados conforme item 6.3

## 5.4 Método de bulbo úmido e bulbo seco

### 5.4.1 Princípio do método

Alternativamente, pode-se obter a umidade de um gás medindo-se as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido e a pressão absoluta no duto ou chaminé.

A partir destes dados, é obtida a umidade utilizando-se uma carta psicrométrica como mostra a Figura 6.

### 5.4.2 Procedimento

5.4.2.1 Utilizar dois termômetros calibrados e compatíveis com a faixa de temperatura da medição carta psicrométrica da mistura de vapor de água-ar correspondente à pressão do efluente gasoso na chaminé ou duto.

5.4.2.2 Envolver o bulbo de um dos termômetros com algodão umedecido ou gaze umedecida.

5.4.2.3 Posicionar os termômetros no centro do fluxo gasoso, ou mais próximo possível, e efetuar a medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido.

Aguardar a estabilização das leituras principalmente do bulbo úmido cuja leitura é mais lenta.

5.4.2.4 Medir a pressão absoluta no duto ou chaminé.

5.4.2.5 Calcular os resultados conforme item 6.4.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Método de referência

6.1.1 Calcular o volume de vapor de água coletado nos borbulhadores, na condição normal, pela seguinte fórmula:

$$V_{ag\ c\ n} = 0,001244 (M_f - M_i)$$

onde:

$V_{ag\ c\ n}$  = volume de vapor de água coletado nos borbulhadores, na condição normal, em  $Nm^3$   
 $M_f$  = massa final dos borbulhadoresp em g  
 $M_i$  = massa inicial dos borbulhadoresp em g

6.1.2 Calcular o volume de gás seco medido no gasômetro na condição normal, pela seguinte fórmula:

$$V_{g\ c\ n} = \frac{0,00269 Y V_g P_g}{T_g}$$

onde:

$V_{g\ c\ n}$  = volume de gás seco medido no gasômetro, na condição normal em  $Nm^3$   
 $Y$  = fator de calibração do gasômetrop adimensional  
 $V_g$  = volume de gás seco medido no gasômetro na condição normal de ensaio, em  $Nm^3$   
 $P_g$  = pressão absoluta no gasômetro (pode ser considerada igual a pressão barométrica), em Pa  
 $T_g$  = média das temperaturas médias do gás na entrada e saída do gasômetro, em K.

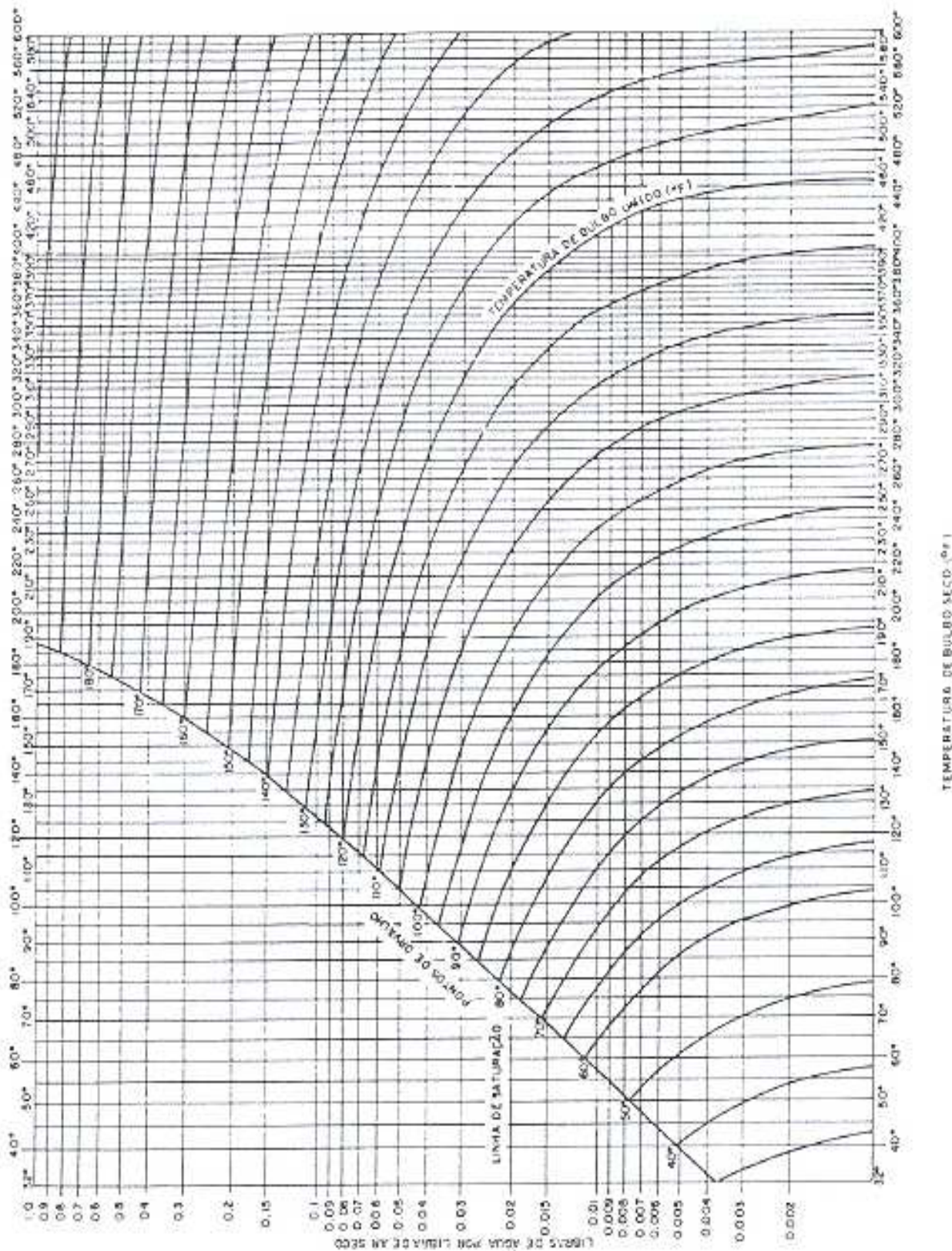


FIGURA 6 - Carta psicrométrica

TEMPERATURA DE BULBO SECO (°F)

6.1.3 Calcular a umidade dos gases pela seguinte fórmula:

$$\text{Bag} = \frac{\text{Vag c n}}{\text{Vag c n} + \text{Vg c n}}$$

onde:

Bag = umidade expressa em termos de proporção em volume do vapor de água nos gases da chaminé ou duto

Vag c n e Vg c n são os indicados em 6.1.1 e 6.1.2

6.2 Método do fluxo saturado

6.2.1 Calcular a umidade dos gases pela seguinte fórmula:

$$\text{Bag} = \frac{\text{PVS}}{\text{Patm} + \text{Pe}}$$

onde:

Bag = umidade dos gases, expressa em termos de proporção em volume de água nos gases da chaminé ou duto

PVS = pressão de vapor de saturação, em Pa (ver Tabela)

Patms = pressão atmosférica, em Pa

Pe = pressão estática na seção da coleta, em Pa

6.3 Método aproximado

6.3.1 Calcular o volume de vapor de água condensado nos borbulhadores na condições normal pela seguinte fórmula:

onde:

$$\text{Vag c n} = 0,001244 (M_f - M_i)$$

onde:

Vag c n = volume de vapor de água condensado nos borbulhadores, na condição normal, em Nm<sup>3</sup>

M<sub>f</sub> = massa total final do conteúdo dos borbulhadores, em g

M<sub>i</sub> = massa total inicial do conteúdo dos borbulhadores, em g

6.3.2 Calcular o volume de gás seco na condição normal, pela seguinte fórmula:

$$\text{Vg c n} = \frac{0,00269 Y \text{ Vg Pg}}{\text{Tg}}$$

onde:

Vg c n = volume de gás seco medido no gasômetro, na condição normal em Nm<sup>3</sup>

Y; Vg; pg e Tg são como indicados em 6.1.2

6.3.3 Calcular a umidade dos gases pela seguinte fórmula:

$$\text{B'ag} = 0,025 + \frac{\text{Vag c n}}{\text{Vag c n} + \text{Vg c n}}$$

onde:

B'ag = umidade aproximada, expressa em termos de proporção volume do vapor de água nos gases da chaminé ou duto

Vag c n e Vg c n são os indicados em 6.3.1 e 6.3.2

#### 6.4 Método de bulbo úmido e bulbo seco

6.4.1 Utilizar uma carta psicrométrica como a da Figura 6, compatível com a pressão e temperatura no duto ou chaminé. Entrar com as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido para obter a umidade H, expressa em massa de água por massa de ar seco.

6.4.2 Calcular a porcentagem em volume de água, utilizando-se a umidade (H) obtida na carta psicrométrica através da equação abaixo:

$$\text{Bag} = \frac{1,61 H}{1 + 1,61 H} \cdot 100$$

onde:

Bag = umidade expressa em termos de proporção em volume do vapor de água nos gases do duto ou chaminé

H = umidade expressa em Kg de vapor de água por Kg de ar seco