

MEDIÇÃO DE VAZÃO DE ÁGUA POR MEIO DE	
CETESB	L4.250
TUBO PITOT	
Procedimento	SET/83

SUMÁRIO

	Página
1 <i>Objetivo</i>	1
2 <i>Referências</i>	1
3 <i>Definições</i>	2
4 <i>Condições gerais</i>	3
5 <i>Condições específicas</i>	14
Anexo A.....	31
Anexo B.....	47
Anexo C.....	49
Anexo D.....	51
Anexo E.....	53

1 OBJETIVO

1.1 A presente Norma fixa as condições exigíveis para a medição de vazão com tu dos Pitot, de líquido em condutos forçados e sob regime turbulento.

1.2 Esta Norma indica também as maneiras práticas de medir as grandezas envolvi das no cálculo final de vazão.

1.3 Os métodos descritos nesta Norma são aplicados sem restrições na medição de vazão por meio de Tubo Pitot modelo Cole, por ser este mais difundido e fabricado no Brasil.

2 REFERÊNCIAS

Na aplicação desta Norma poderá ser necessária a consulta às seguintes normas e documentos:

- a) da CETESB,
D2.210 - Elaboração de Cadastro de Redes de Água.
- b) da BSI - British Standards Institute,
Methods for the
Measurement of fluid flow in pipes
- c) de autores diversos,
 - Report an Accuracy
By Edward S. Cole
 - Pitot Tubes in Large Pipes
By Edward S. Cole and Shaw Cole
 - Pitot - Tube Practice
By Edward S. Cole
 - The Cole Pitometer System
By the Pitometer Associates
 - Investigation of Errors of Pitot - Tubes
By C. W. Hubbard.

3 DEFINIÇÕES

Para efeito desta Norma são utilizadas as definições de 3.1 a 3.18.

3.1 Abraçador do Tubo em "U"

Peça utilizada na proteção do tubo em "U".

3.2 Base

Peça para acoplamento do Pitot ao registro de derivação.

3.3. Braçadeira

Peça geralmente metálica utilizada para assegurar a vedação da junção da mangueira com o tubo ou terminal.

3.4 Calibrador

É o dispositivo que apresenta as mesmas características do tubo Pitot no qual as tomadas pitométricas foram substituídas por um gabarito de calibração.

NOTA: O gabarito do calibrador é fixado no varão interior à haste do calibrador e movimentado por um posicionador na haste superior da mesma.

3.5 Estação Pitométrica

É o local da tubulação onde é medida a vazão através do tubo Pitot.

3.6 Estranguladores

Peça utilizada para conter o fluxo de água nas mangueiras.

3.7 Haste

Peça de perfil externo de formato retangular, que recobre os tubos transmissores de pressão do Pitot.

3.8 Índice Corrediço

Peça que se desloca ao longo da haste e utilizada para a verificação do posicionamento das tomadas pitométricas ao longo da seção considerada. É também conhecida como cursor.

3.9 Líquidos Manométricos

São líquidos utilizados na medição do diferencial de pressão.

3.10 Mangueira

É o elemento flexível com diâmetro nominal (DN) igual a 6, utilizado na transmissão do diferencial de pressão gerada pelo tubo Pitot.

3.11 Manômetro Diferencial em "U"

É o tubo de vidro em forma de "U" contendo líquido manométrico, o qual indica o diferencial de pressão com o auxílio de uma escala.

NOTA: O manômetro a ser utilizado deve possuir as seguintes características:

- Possuir um comprimento útil de 500 mm;
- resistir a uma pressão de trabalho de 3 000 kPa (30 kg/cm²);
- possuir uma extremidade reduzida (embisel) para acoplamento às mangueiras;
- possuir um diâmetro interno uniforme na parte útil, igual ou maior de 6 mm.

3.12 Parafuso de Fixação da Haste

Peça localizada na base do Pitot e utilizada para impedir a movimentação da haste.

3.13 Ponto de Referência

Ponto localizado na parte superior da base, a partir do qual mede-se o posicionamento das tomadas pitométricas no interior da tubulação.

3.14 Posicionador das Tomadas Pitométricas

Dispositivo utilizado para movimentação (fechamento ou abertura) das tomadas pitométricas.

3.15 Registro de Derivação

Registro de macho para a instalação do Pitot, com diâmetro interno de 26 mm.

3.16 Tomadas Pitométricas

São elementos simétricos utilizados como tomadas de pressão.

3.17 Trava do Posicionador

Peça utilizada para fixar o posicionador das tomadas pitométricas, mantendo-os na posição aberta ou fechada.

3.18 Tubo de Pitot

Instrumento destinado à medição de vazão através da medida de velocidade do fluxo.

NOTA: Os modelos de tubos de Pitot Cole e Simples são os mais usados e fabricados no Brasil.

4 CONDIÇÕES GERAIS

4.1 Tubo de Pitot modelo Cole

O tubo de Pitot modelo Cole (Figura 1) possui as seguintes características:

- é constituído principalmente por duas tomadas de pressão simétricas que recebem a denominação particular de tomadas pitométricas;
- as tomadas pitométricas são roscadas em 2 tubos internos à haste do Pitot, e movimentadas por posicionadores aparafusados nesses tubos, na parte superior da haste;
- os posicionadores são fixados por uma trava em duas posições, sendo uma abertura marcada com a letra A e outra fechada marcada com a letra F;
- quando em uso, as tomadas pitométricas formam entre si um ângulo de 180° , ficando um orifício para a posição de impacto no sentido contrário ao escoamento e outro, para a posição de referência, no sentido a favor do escoamento;
- na posição de impacto incide a pressão estática (P_{est}) mais a energia cinética $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$;
- na posição de referência incide apenas a pressão, aproximadamente igual a pressão estática (P_{est});
- este modelo nos permite determinar o sentido de escoamento do fluido, uma vez que o ramo do manômetro diferencial em "U", em comunicação com a posição de impacto, apresentará uma menor coluna de líquido manométrico;
- posição simétrica das tomadas pitométricas nos permite verificar qualquer obstrução que venha a ocorrer nas mesmas. Girando-se o instrumento de 180° o diferencial de pressão lido no manômetro diferencial em "U" deve ser o mesmo para as duas posições, estando as tomadas pitométricas desobstruídas.

4.2 Tubo Pitot modelo Simplex

O tubo Pitot modelo Simplex (Figura 2) possui as seguintes características:

- tomadas de pressão fixas, fazendo parte da haste do Pitot;
- as tomadas de pressão estão posicionadas formando um ângulo de 90° entre si uma dotada de orifício único voltada contra o sentido do escoamento (posição de impacto) e outra dupla dotada de dois orifícios posicionadas lateralmente e opostas entre si.

4.3 Procedimento Preliminares

4.3.1 Localização da Tubulação Enterrada

4.3.1.1 A tubulação de aço ou ferro fundido, quando enterrada, deve ser localizada utilizando-se cadastros existentes e/ou detetores eletrônicos, conjuntamente, o que facilita bastante a tarefa de localização, especialmente quando existem outras tubulações próximas (Vide Norma D2.210 "Elaboração de Cadastro de Redes de Água").

4.3.2 Escolha do Ponto de Medição

4.3.2.1 O ponto de medição deve ser locado em um trecho retilíneo da tubulação, de modo que diste de quaisquer singularidade, situadas a montante do mesmo, de um comprimento equivalente de 10 a 20 diâmetros e, das singularidades de jusante, de um comprimento equivalente de 5 a 10 diâmetros.

4.3.2.2 Quando forem constatadas altas velocidades ou existências de curvas ou cotovelos de 90° o ponto de medição deve ser localizado a uma distância a montante de no máximo de 50 diâmetros e de no mínimo 20 diâmetros a jusante.

4.3.2.3 O ponto de medição deve ser localizado, no mínimo, a 20 metros de distância de redes aéreas de eletricidade, a fim de prevenir acidentes provocados por curto-circuitos devidos a vazamentos causados por ruptura da derivação onde é conectado o Pitot.

NOTA: As considerações de 4.3.2 são de caráter geral, havendo necessidade de estudar as particularidades que se apresentarem em cada caso.

4.3.3 Tipo de Derivação Usado para Instalação do Tubo Pitot

4.3.3.1 A derivação utilizada para a montagem e introdução de Pitot na tubulação é um registro macho como definido no item 3.15 (vide Figura 3).

4.3.3.2 Na colocação do registro de derivação deve ser obedecida a sequência:

- a) escolhido o ponto de medição, é aberta nesse local uma vala que deixe toda a tubulação aparente, inclusive deixando um pequeno vão na parte inferior da mesma, para melhor fixar a máquina de furação na linha e permitir colocação do registro de derivação, (Vide Figura 4).
- b) a colocação do registro de derivação poderá ser efetuada por qualquer tipo de máquina, manual ou motorizada, que preencha os seguintes requisitos:
 - permitir a colocação do registro de derivação com a tubulação pressurizada,
 - dispor de selas de acoplamento entre a máquina e o tubo a ser furado, isto é, que se assentem com a curvatura externa do tubo,
 - furar e abrir roscas em uma só operação,
 - possibilitar furação e abertura de roscas, bem como colocação do registro de derivação, com estanqueidade.

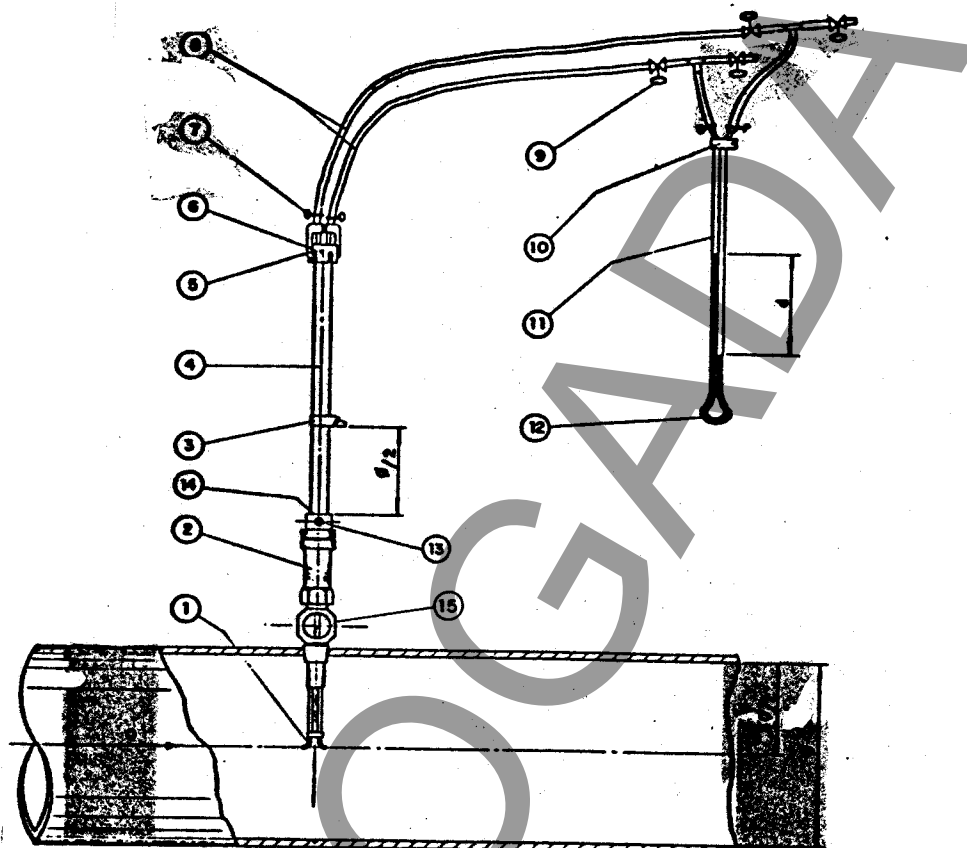
NOTA: A Figura 5 apresenta o "croquis" de uma estação pitométrica.

4.4 Determinação do Diâmetro Real Interno da Tubulação

4.4.1 Para a determinação do diâmetro real da tubulação no ponto de medição é utilizado um instrumento denominado calibrador ou galgador (Vide Figura 6).

4.4.1.1 Para a tomada das medidas internas da tubulação, o calibrador é roscado na derivação, previamente colocada, obedecendo a sequência abaixo:

- a) o gabarito do calibrador deve ser introduzido fechado, na tubulação, devendo o posicionador do mesmo, localizado na parte superior da haste, estar travado na posição fechada (marcada com a letra F);



- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 - Tomadas Pitométricas | 9 - Estranguladores |
| 2 - Base | 10 - Abraçador de tubo em "U" |
| 3 - Índice | 11 - Manômetro Diferencial em "U" |
| 4 - Haste | 12 - Líquido Manométrico |
| 5 - Posicionador das Tomadas Pitométricas | 13 - Parafuso de Fixação da Haste |
| 6 - Trava de Posicionador | 14 - Ponto de Referência |
| 7 - Braçadeiras | 15 - Registro de Derivação |
| 8 - Mangueiras de Borracha | |

FIGURA 1 - Tubo de Pitot Acoplado à Manômetro Diferencial de Dupla Coluna (Tubo U)

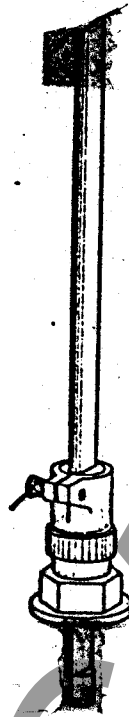


FIGURA 2 - Tubo Pitot modelo "Simplex"

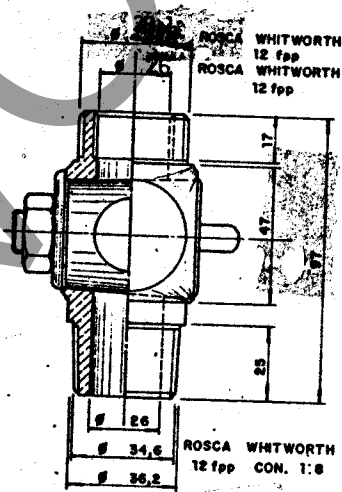


FIGURA 3 - Registro de Derivação de 26 mm

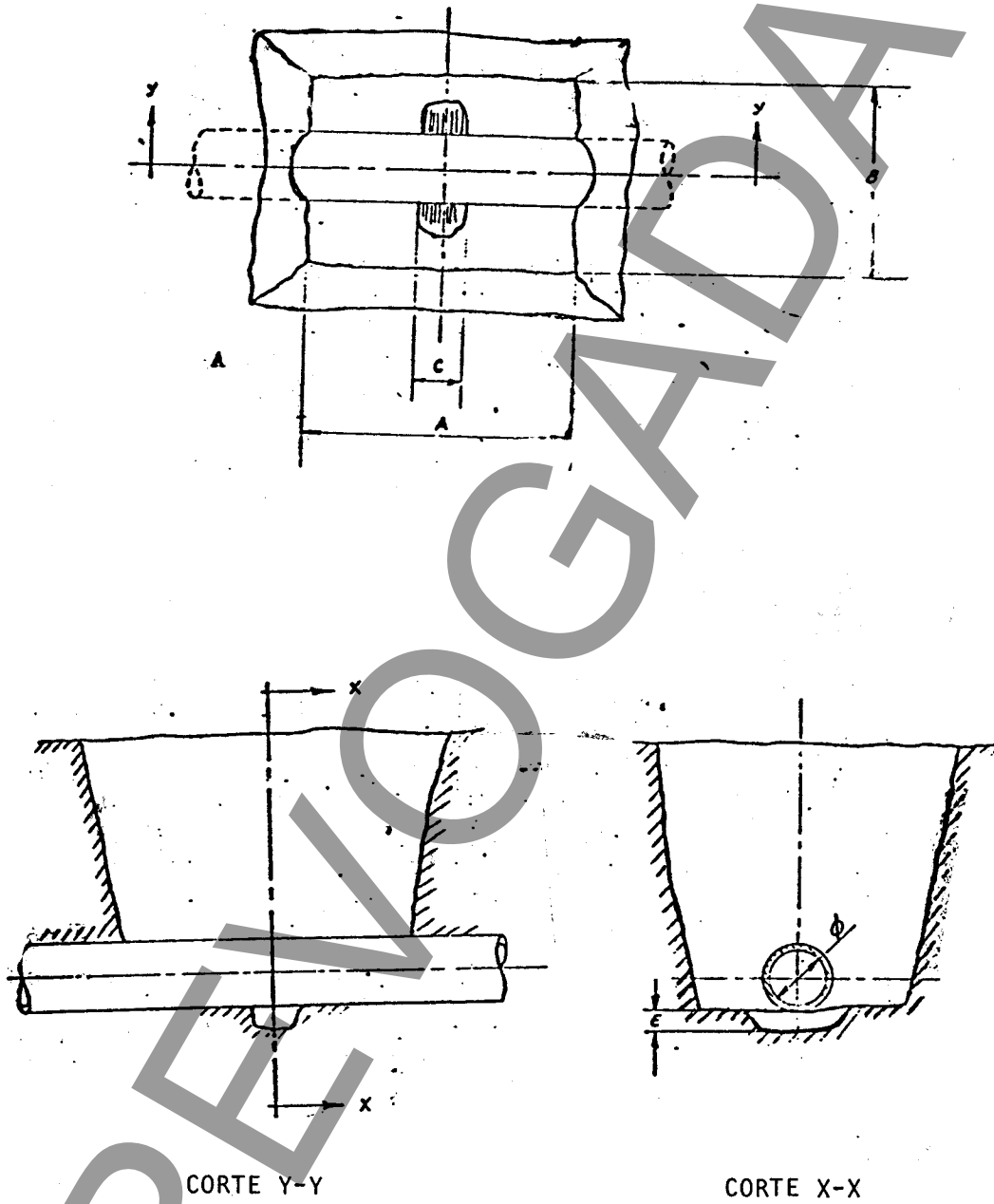


FIGURA 4 - Vala para Colocação do Registro de Derivação

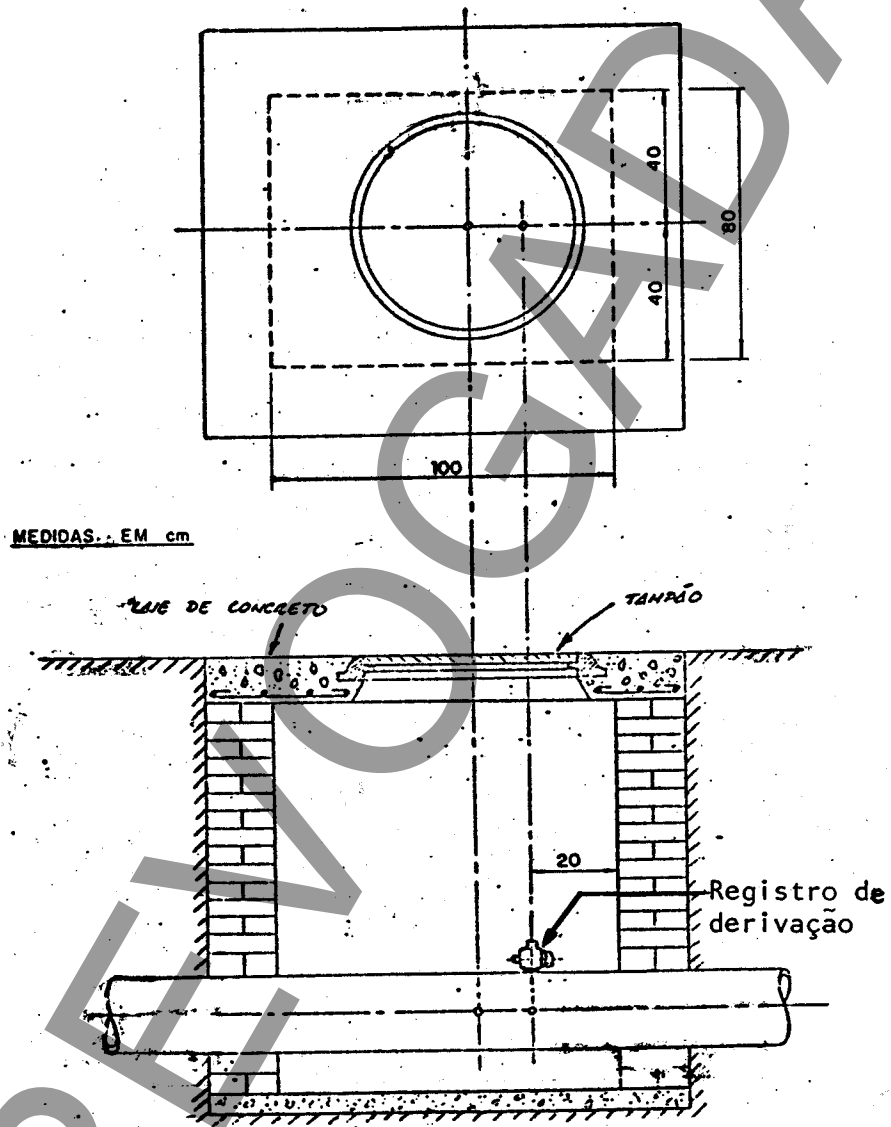


FIGURA 5 - Croquis da Estação Pitométrica

- b) após a introdução do gabarito na tubulação, este deve ser aberto, des-travando-se o posicionador e girando-o até a posição aberta (marcada com a letra A) e travando-o nessa posição;
- c) descer a haste do calibrador até que o encoste no fundo da tubulação, fixando-o nessa posição, através do parafuso de fixação existente na base do calibrador;
- d) com o gabarito tocando o fundo da tubulação, deslocar o índice corre-diço existente na haste do calibrador até que o mesmo se apoie sobre a face superior do ponto de referência; a seguir fixa-se o mesmo atra-vés de parafuso de fixação;
- e) soltar o parafuso de fixação da base do calibrador puxar em seguida a haste para cima até que o gabarito toque a parte superior do tubo; fi-xa-se novamente a haste nessa posição;
- f) o diâmetro interno real da tubulação será então a medida da distân-cia, do ponto de referência até o índice, mais a altura do gabarito. A altura do gabarito do calibrador deve ser igual a 25 mm; (Figura 7a);
- g) para retirar o calibrador da tubulação é necessário soltar o parafuso de fixação e abaixar a haste, livrando o gabarito da parte superior do tubo, posicionando-o a seguir na posição fechada, (Figura 7b);

NOTA 1: O diâmetro da tubulação deverá ser cuidadosamente determinado, pois os erros mais graves em trabalhos de campo são geralmente causados pelo erro na determinação da área da tubulação;

NOTA 2: ao medir o diâmetro interno da tubulação deve-se descer a haste do calibrador suavemente a fim de que o gabarito, ao tocar o fundo da tubulação, não penetre nos tuberculos porventura exis-tentes, falseando a medida da secção de vazão;

NOTA 3: Para um tubo de 100 mm, um erro de 7 mm no diâmetro causará um erro na área calculada de 13,0%.

4.4.1.2 Muitas vezes o registro de derivação colocado para a instalação do tubo Pitot se projeta para dentro da tubulação. Para se determinar essa projeção, pro-cede-se inicialmente como descrito em 4.4.1.1, somente que, após o gancho do ca-librador tocar o fundo da tubulação e ter sido fixado o índice corre-diço com o gancho nessa posição, a haste é suspensa, o posicionador destravado e girado pa-ra uma abertura de 30° com a posição fechada da trava do posicionador. Tal proce-dimento faz com que o gabarito toque na parede do registro de derivação quando a haste for suspensa novamente. A distância do ponto de referência até o índice cor-rediço, acrescida do comprimento do gabarito do calibrador e comprada com a obti-da. Por diferença é constatado se houve ou não projeção do registro de derivação dentro da tubulação (Figura 7c).

NOTA: A verificação da projeção da derivação como descrito no ítem 4.4.1.2, só se faz necessária para tubulações com diâmetro igual ou menor que 300 mm, posto que os fatores de correção provinientes dessa projeção serão desprezíveis para diâmetros maiores.

4.4.1.3 Quando das tomadas das medidas internas da tubulação deve-se atentar pa-
ra que:

- a) durante a instalação e tomadas das medidas o operador não deve sol-tar a haste do calibrador sem estar devidamente apertado o parafuso de fixação, pois estando a tubulação pressurizada pode ocorrer a ex

- 1- Gabarito do calibrador
- 2- Base
- 3- Parafuso de fixação da haste
- 4- Ponto de referência
- 5- Índice corrediço decursor
- 6- Haste
- 7- Trava do Posicionador
- 8- Posicionador do Gabarito

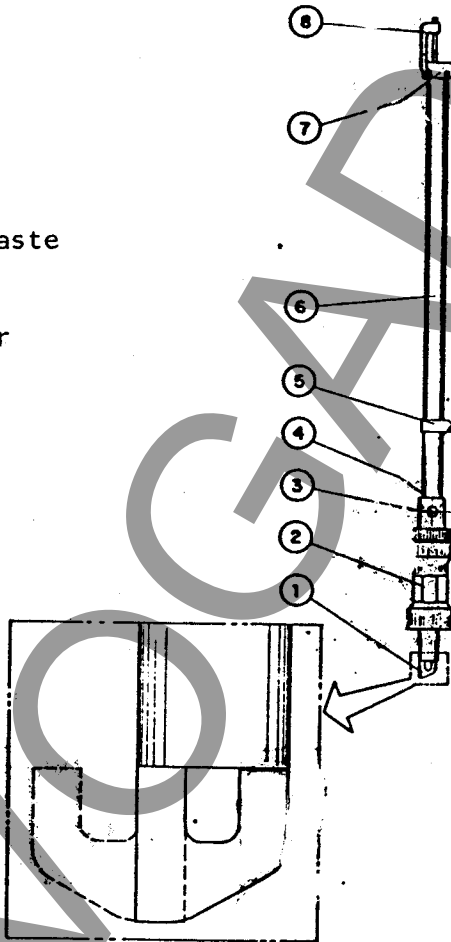


FIGURA 6 - Calibre ou Galgador

- pulsão violenta da haste com a consequente danificação do instrumento;
- b) a operação de abrir e fechar o gabarito do calibrador dentro da tubulação, somente deverá ser efetuada estando o mesmo livre de contato com as paredes internas, a fim de evitar a danificação do equipamento.

5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1 Instalação e operação do tubo Pitot

5.1.1 Procedimento na instalação

A base do tubo Pitot é roscada no registro de derivação o qual foi previamente instalado na tubulação conforme descrito no ítem 4.3.2. Durante a instalação do Pitot deve ser observado o seguinte:

- a) como os tubos transmissores de pressões, internos à haste do Pitot, são abertos para a atmosfera é necessário que os mesmos já estejam acoplados às mangueiras de borracha, antes da abertura do registro de derivação;
- b) a haste é introduzida na tubulação com as tomadas pitométricas travadas na posição fechada. (Nestas condições o orifício das tomadas pitométricas estão voltadas para a projeção da haste do Pitot);
- c) as tomadas pitométricas são abertas destravando-se os posicionadores, girando-os para a posição aberta e travando-os novamente. Nesta posição os orifícios das tomadas pitométricas estão voltados um para a posição de impacto contra o fluxo e outro para a posição de referência, a favor do fluxo;
- d) com as tomadas pitométricas abertas descer a haste até que as mesmas encostem no fundo. Mantendo-se a haste nessa posição aperta-se o índice correção na haste, apoiado sobre a face superior da base do Pitot que funciona como ponto de referência;
- e) puxar a haste para cima e medir a distância da parte superior da base do Pitot, (ponto de referência), até o índice preso à haste. Nestas condições tem-se as tomadas pitométricas ao longo da seção considerada.
- f) as tomadas pitométricas poderão ser fixadas numa determinada posição no interior da tubulação, travando-se a haste do Pitot pelo aperto do parafuso de fixação existente na base do mesmo.

NOTA: A Figura 8 apresenta os parâmetros dimensionais do Pitot e da tomada pitométrica, os quais influem respectivamente na determinação da área real da seção e do diferencial de pressão gerado pelo tubo Pitot. As Tabelas 1 e 2 foram construídas com base nos valores dos elementos da Figura 8 (ver anexos A e B).

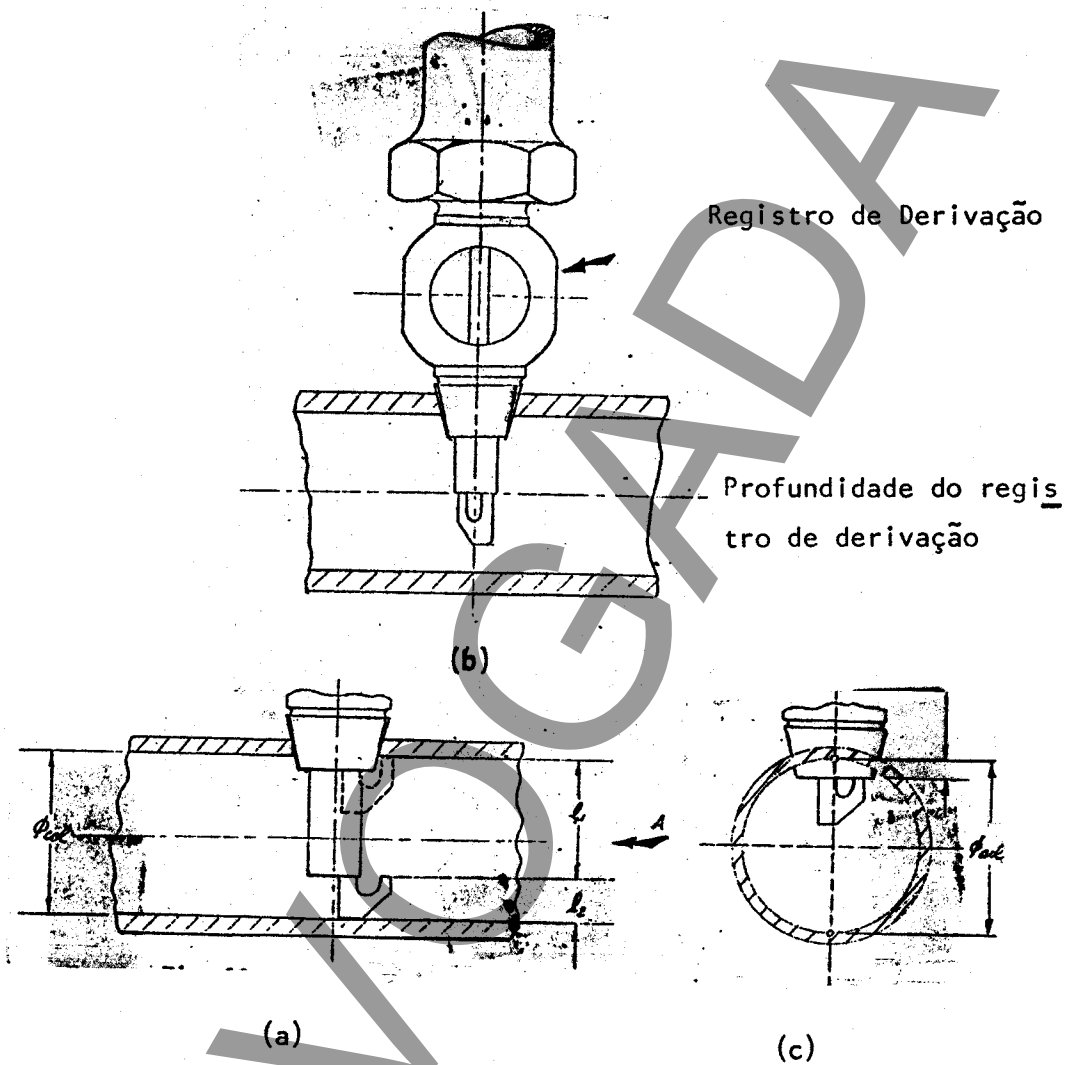
5.1.2 Cuidados quando da instalação e operação do tubo Pitot

5.1.2.1 Antes da instalação do tubo Pitot é necessário examinar visualmente:

- a) o estado do orifício das tomadas pitométricas;
- b) o paralelismo das tomadas pitométricas, estando os posicionadores travados, na posição aberta.

5.1.2.2 Durante a instalação do tubo Pitot o operador não deve soltar a haste do mesmo; estando a tubulação pressurizada, poderá ocorrer a expulsão violenta da haste com a consequente danificação do instrumento.

5.1.2.3 A descida da haste do Pitot deve ser feita com muito cuidado, a fim de que as tomadas pitométricas não sejam danificadas (amassadas) ao tocarem o fundo da



$$\varnothing \text{ cal} = l_1 + l_2$$

l_1 = dimensão medida entre o índice na vara e a superfície referênci

l_2 = altura do gancho de calibre = 25,0 mm

FIGURA 7 - Determinação diâmetro real de tubulação

da tubulação.

5.1.2.4 Para a fixação do índice correção na haste, sobre a face superior da base do Pitot, é necessário que as tomadas pitométricas já estejam na posição aberta antes de tocarem o fundo da tubulação.

NOTA: As tomadas pitométricas só serão abertas ou fechadas quando estiverem livres do contato das paredes internas da tubulação.

5.1.2.5 Retirar o tubo Pitot da tubulação com as tomadas pitométricas travadas, na posição fechada.

5.2 Determinação do diferencial de pressão no tubo Pitot

5.2.1 Considerações gerais

5.2.1.1 A fim de evitar colunas de água demasiadamente altas, o que dificultaria as medidas do diferencial de pressão, há necessidade da utilização de líquidos manométricos adequados. Na prática o diferencial de pressão gerado no tubo Pitot é determinado por meio de um manômetro diferencial de dupla coluna (tubo U) contendo líquidos manométricos com densidades maiores que a densidade da água.

5.2.1.2 São usualmente utilizados como líquidos manométricos os seguintes:

- a) tetracloreto de carbono diluído em benzina mais corante; densidade igual a 1,11;
- b) tetracloreto de carbono diluído em benzina mais corante; densidade igual a 1,25;
- c) tetracloreto de carbono mais corante; densidade igual a 1,60;
- d) tetrabromoetano mais corante; densidade igual a 2,90;
- e) mercúrio (Hg); densidade igual a 13,58.

NOTA: O uso de misturas de líquidos dando como resultado um líquido manométrico de densidade padrão é prático, pois existem tabelas que fornecem a velocidade em função do diferencial de pressão e da densidade ao líquido manométrico.

5.2.1.3 A transmissão de pressão do tubo Pitot para o manômetro diferencial em U é feita por um par de mangueiras flexíveis de borracha, como descrito no item 3.10, satisfazendo os seguintes requisitos:

- a) dispor de derivação independente para extração de ar;
- b) possuir em cada mangueira 2 estranguladores e 2 braçadeiras construídos em latão ou aço inóx, acionados manualmente (Vide Figura 1).
- c) resistir a uma pressão de serviço de 3 000 kPa (30 kg/cm^2);
- d) possuir flexibilidade e maciez a fim de facilitar a sua fixação no manômetro diferencial em U;
- e) possuir mangueira, com comprimento mínimo de 1,50 m.

5.2.2 Cuidados quando da determinação do diferencial de pressão gerado no Pitot
Quando da determinação do diferencial de pressão deve ser observado o seguinte:

- a) o manômetro diferencial em U a ser utilizado deve estar perfeitamente limpo a fim de não provocar aderência do líquido manométrico nas paredes internas;
- b) os meniscos do líquido manométrico devem estar bem caracterizados;
- c) na leitura do diferencial de pressão tomar sempre a tangente aos meniscos (Vide Figura 9);

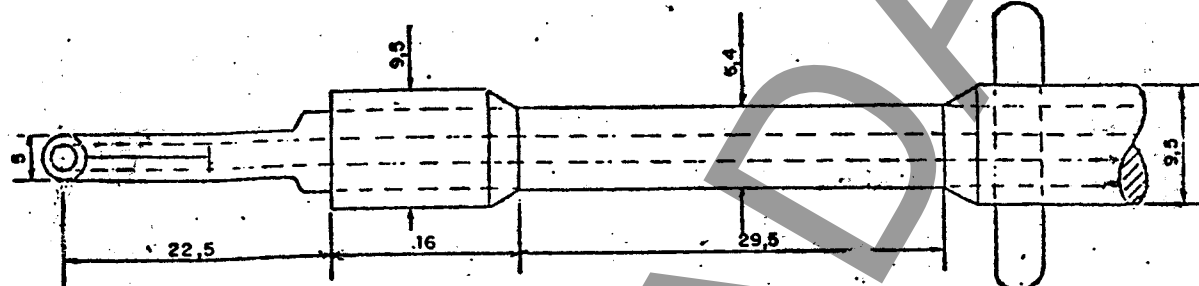


FIGURA 8 - Conjunto de dimensões aproximadas da parte da haste do Pitot e da toma da pitométrica nos quais estão baseados os valores das Tabelas 1 e 2 (em mm).

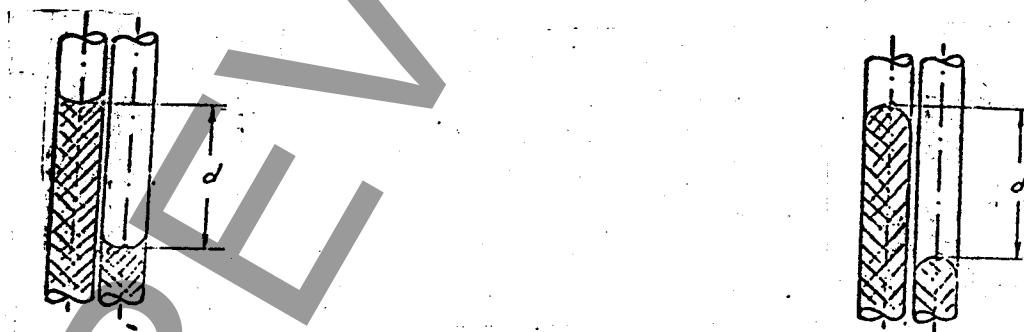


FIGURA 9 - Leitura e caracterização dos meniscos

- d) as leituras deverão ser feitas com o manômetro diferencial em U na vertical ou segundo um ângulo fixo e conhecido, para posterior correção;
- e) o corante a ser utilizado deverá ser imiscível em água e de boa qualidade, a fim de não provocar a descaracterização dos meniscos pela aderência às paredes do manômetro diferencial em U e não descorar sob a luz do sol;
- f) o tubo U deverá sempre permanecer à sombra.

NOTA: O líquido manométrico deve ser substituído e o tubo manométrico em U devidamente limpo, caso haja aderência do mencionado líquido às paredes do mesmo.

5.3 Determinação do fator de velocidade

5.3.1 Considerações gerais

Sendo o tubo Pitot um instrumento que mede velocidade pontuais e considerando que a velocidade varia ao longo de um diâmetro qualquer, há necessidade de determinar um fator que relacione a velocidade média na seção com a velocidade central, medida com o tubo Pitot. O fator velocidade é definido como sendo a relação entre a velocidade média na seção e a velocidade central. Este fator é obtido através do perfil da curva de velocidade na seção respectiva. A curva de velocidade recebe também o nome particular de traverse.

NOTA: A curva de velocidade deveria ser obtida posicionando as tomadas pitométricas nos raios médios dos anéis de igual área em que seria dividida a seção transversal como indicado na Figura 10. Na prática porém, este posicionamento é muito difícil. Por este motivo as tomadas pitométricas são posicionadas em 10 divisões equidistantes em que se divide o diâmetro nominal da tubulação obtendo-se assim a curva de velocidades.

5.3.2 Cálculo dos raios médios dos anéis de igual área ou de posicionamento das tomadas pitométricas

Para o cálculo dos raios médios dos anéis de igual área é usada a fórmula:

$$R_n = R \sqrt{\frac{2n - 1}{2N}}$$

onde:

R_n = raio médio dos anéis de igual área, em m;

R = raio da seção do tubo, em m;

n = número de ordem dos anéis a partir do centro;

N = número total de anéis de igual área em que será dividida a seção.

NOTA: Exemplo de cálculo encontra-se no Anexo D.

5.3.3 Construção da curva de velocidade

5.3.3.1 Após o tubo Pitot ser instalado como descrito no item 5.1 as tomadas pitométricas são posicionadas em 10 posições equidistantes, ao longo do diâmetro nominal da seção, onde são medidos os diferenciais de pressão registrados no manômetro diferencial em U.

5.3.3.2 O diferencial de pressão de cada ponto é plotado em gráfico especial. As linhas cheias horizontais dividem o diâmetro em 10 pontos equidistantes. Nas linhas cheias verticais coloca-se uma escala em função do maior diferencial encontrado, que é teoricamente, com as tomadas pitométricas posicionadas no centro da tubulação. Através das linhas tracejadas horizontais que representam os raios médios dos anéis de áreas iguais (pontos de ordenada 0,316 - 0,548 - 0,706 - 0,836

0,948 de R (acima e abaixo do centro), são retirados os valores das deflexões no ponto de intersecção da mesma com a curva obtida.

5.3.3.3 A curva é traçada segundo os pontos obtidos na intersecção das linhas cheias. Quando não é possível medir o diferencial em todos os pontos (tubos de pequenos diâmetros) a curva deve ser extrapolada segundo sua concordância nominal).

5.3.3.4 A média das raízes quadradas dos valores da deflexão obtidos na intersecção das linhas tracejadas horizontais com a curva, exceto a central, dividida pela raiz quadrada da deflexão central, nos dá o fator de velocidade (FV).

$$FV = \frac{\frac{10}{\sum \sqrt{h}}}{\frac{1}{10}} \cdot \frac{1}{\sqrt{hc}}$$

NOTA A - A Figura 11 apresenta uma curva de velocidade calculada.

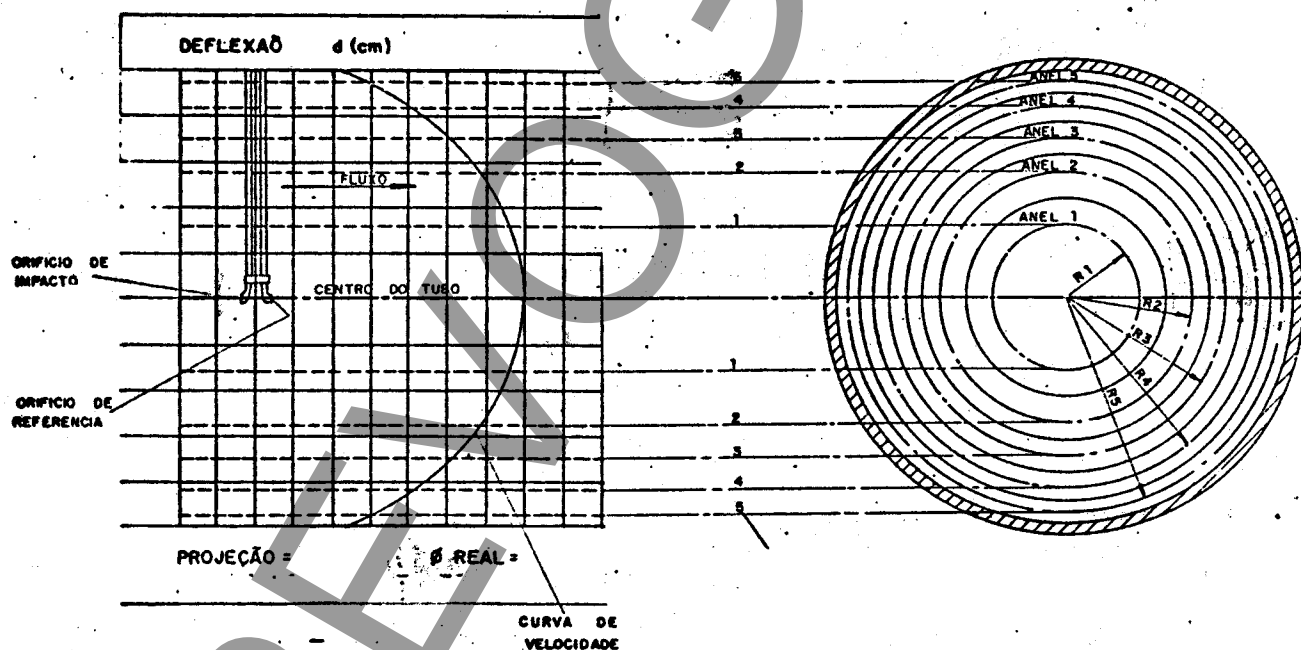


FIGURA 10 - Posicionamento das tomadas pitométricas no centro de anéis de igual área.

5.3.4 Cuidados quando da obtenção da curva de velocidades (Traverse).

Deve ser observado que:

- a) o líquido manométrico deve ser selecionado para apresentar um diferencial entre 150 e 300 mm com as tomadas pitométricas posicionadas no centro da tubulação;

- b) todo o ar existente no sistema deve ser retirado pela abertura alternada dos estranguladores existentes nas derivações das mangueiras;
- c) durante a construção da curva de velocidades a vazão deverá permanecer constante. A fim de comprovar isto, deve-se voltar a ler o diferencial de pressão no centro, após a leitura do último ponto. Os dois diferenciais do centro devem ser sensivelmente iguais;
- d) em redes de abastecimento a obtenção dos elementos para o traçado do perfil da curva de velocidades devem ser conseguidos no menor espaço de tempo possível. Nestas condições é preciso estimar o diferencial médio em cada ponto, observando-se o ciclo completo de pulsações nesse ponto. Repetir a operação para evitar erros;
- e) as tomadas pitométricas deverão ser posicionadas paralelamente ao fluxo. A verificação do paralelismo das tomadas pitométricas em relação ao fluxo pode ser feita visualmente.

NOTA 1: Experiências em laboratório indicam que um desvio de no máximo 10° , em ambas as direções no alinhamento do Pitot, não altera a medida dos diferenciais.

NOTA 2: É o perfil da curva de velocidade que determina a utilização ou abandono de um ponto de medição, pois a uniformidade na distribuição das velocidades é condição primordial para a exatidão das medidas.

A Figura 12 apresenta 2 curvas normais (perfil).

NOTA 4: O ponto de medição que apresenta curva anormal (Figura 13), além da possibilidade de apresentar fator de velocidade instável, tem diferentes valores de FV para diferentes diâmetros de uma mesma seção transversal.

5.4 Determinação da velocidade média central

5.4.1 Procedimento

Após o tubo Pitot ser introduzido na tubulação, conforme descrito no item 5.1.1, posicionam-se as tomadas pitométricas no centro do diâmetro nominal da tubulação, trava-se a haste nessa posição e faz-se uma série de leituras do diferencial de pressão. As leituras devem ser feitas de 30 em 30 segundos durante 10 minutos. Repetir o procedimento após um giro de 180° na haste do Pitot.

5.4.2 Fórmula para obtenção da velocidade com tubo Pitot

a) demonstração: (Vide Figura 14).

$$P_1 - (h_1 + \Delta h + h_2 + h_3) \gamma_1 + h_3 \gamma_1 + h_2 \gamma_1 + \Delta h \gamma_1 = P_2 - \gamma_1 (h_1 + \Delta h + h_2) + h_2 \gamma_1 + \Delta h \gamma_2$$

Resultado:

$$P_1 - P_2 = \Delta h (\gamma_2 - \gamma_1) = \frac{V^2}{2g}$$

÷ γ_1 , resulta:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma_1} = \Delta h \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1 \right) = \frac{V^2}{2g}$$

Sendo:

$$\gamma_2 = \rho_2 g$$

$$\gamma_1 = \rho_1 g$$

$$\text{e sendo } x = \frac{\rho_2}{\rho_1}$$

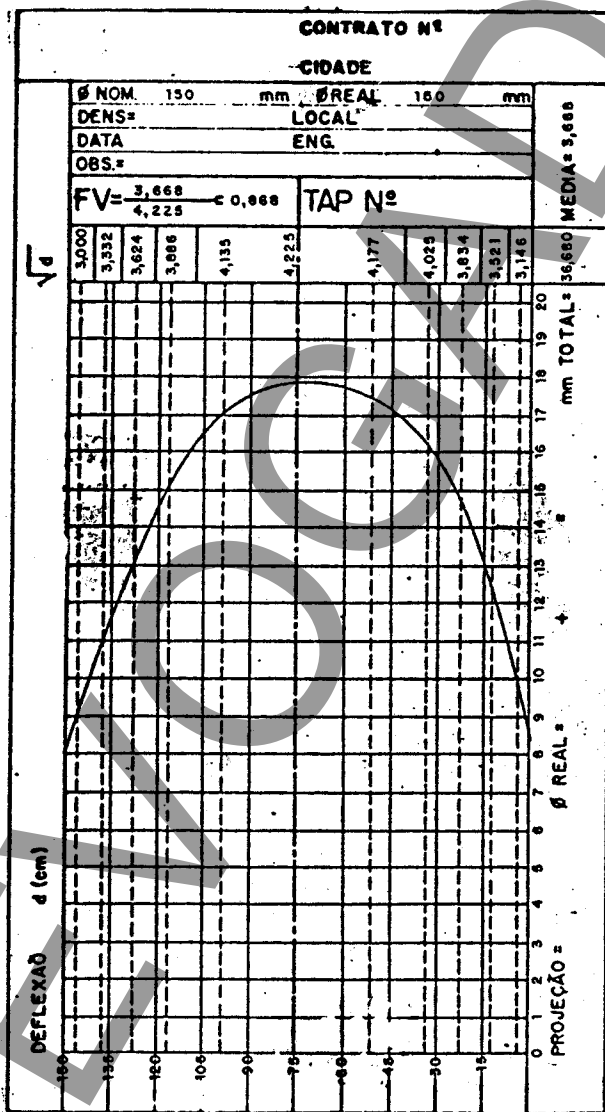


FIGURA 11 - Curva de velocidade e cálculo do fator velocidade

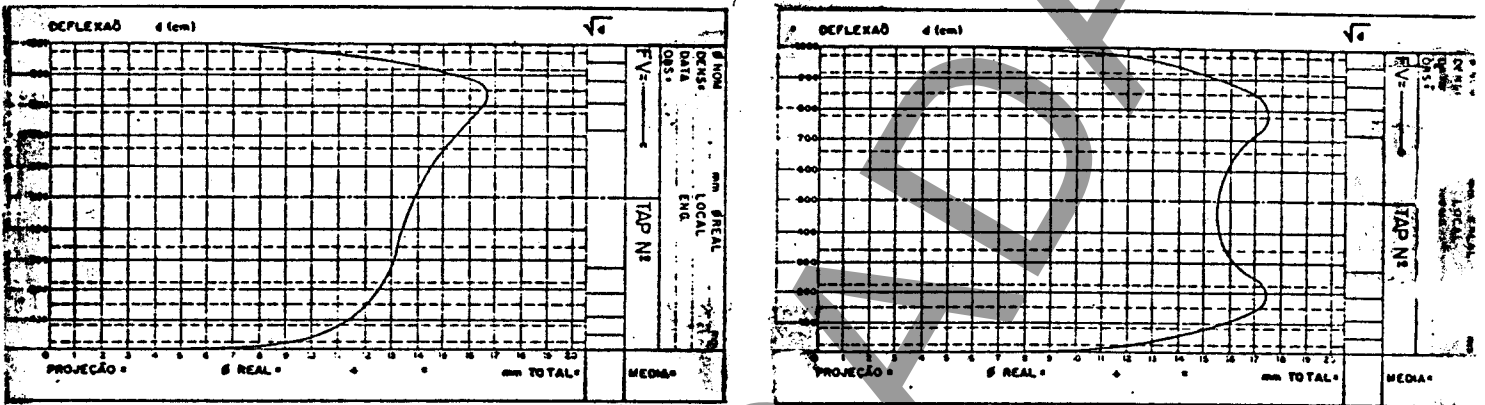
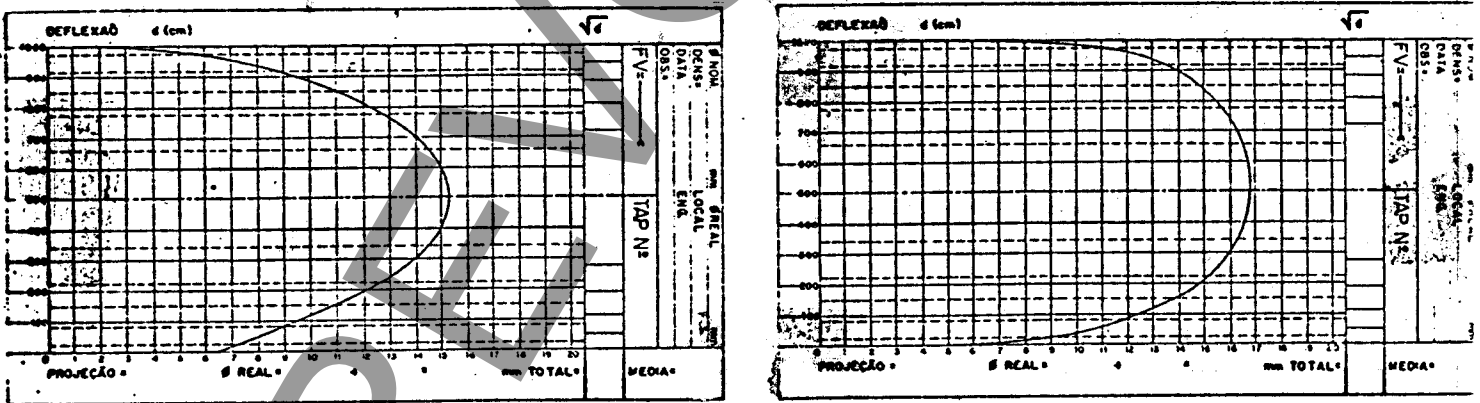


FIGURA 12 - Curva normal de velocidade (traverse)



Perfil de velocidade levantadas sob o efeito de uma curva de 45° e no plano da mesma.

Perfil de velocidade levantadas sob o efeito de uma curva de 45° e perpendicular ao plano da mesma.

FIGURA 13 - Curva anormal de velocidade (traverse)

$$V = \sqrt{2g \Delta h \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right)}$$

$$V = \sqrt{2g \Delta h \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right)}$$

$$V = \sqrt{2g \Delta h (x - 1)}$$

onde:

γ_2 = peso específico do líquido manométrico.

γ_1 = peso específico do líquido cuja vazão deve ser medida.

ρ_2 = massa específica do líquido manométrico.

ρ_1 = massa específica cuja vazão deve ser medida.

x = densidade do líquido manométrico em relação ao líquido cuja vazão deve ser medida.

g = aceleração da gravidade.

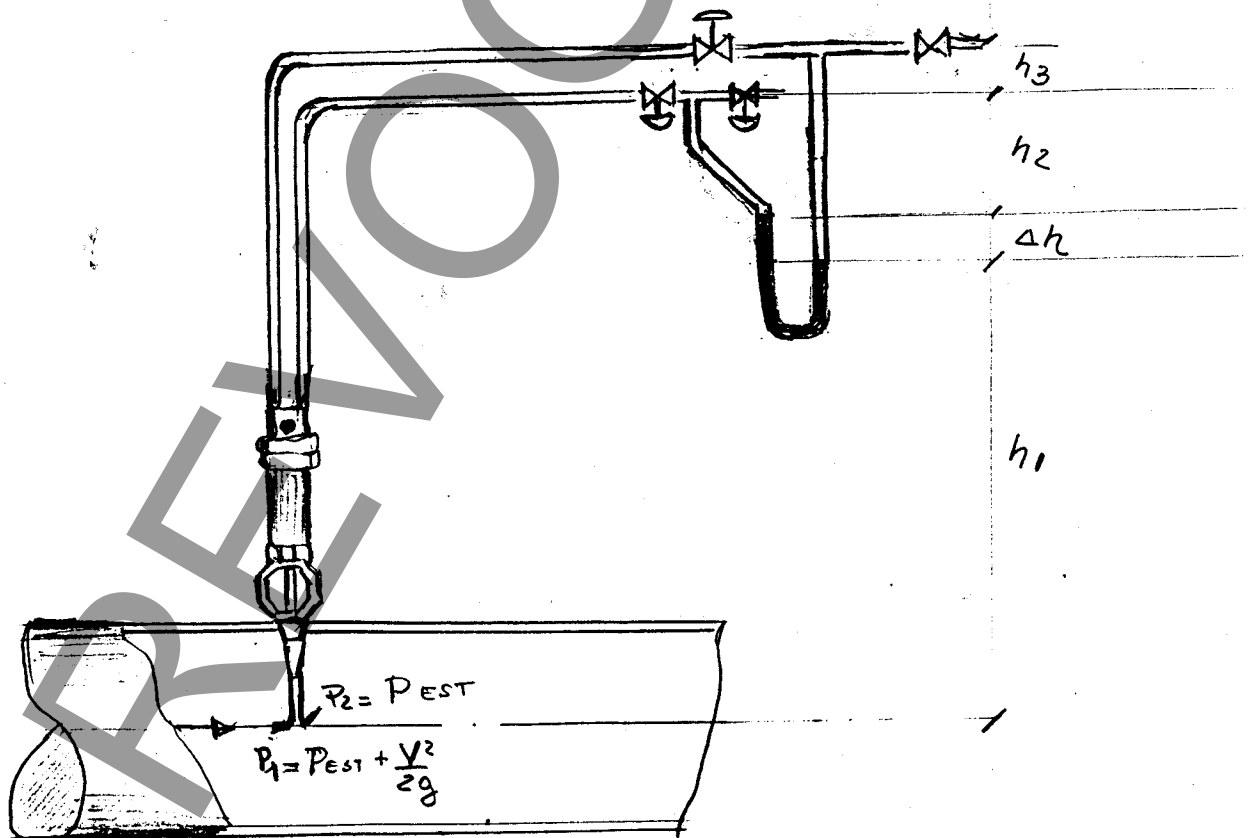


FIGURA 14 - Esquema de medição com tubo em "U".

5.4.3 Cuidados quando da obtenção da velocidade média central

Deve ser observado o seguinte:

- a) retirar todo o ar do sistema pela abertura alternada dos estranguladores existentes na derivação própria das mangueiras;
- b) as tomadas pitométricas devem estar paralelas ao fluxo. A verificação do paralelismo é feita visualmente pelo alinhamento da projeção das faces planas da haste do Pitot, com o centro da curvatura no tubo a jusante ou montante;
- c) o tubo em U deve estar perfeitamente limpo proporcionando uma visualização perfeita dos meniscos;
- d) o líquido indicador deve ser selecionado para apresentar um diferencial de pressão entre 50 a 400 mm, de preferência entre 150 a 300 mm;
- e) leituras abaixo de 50 mm devem ser evitadas uma vez que apresentam maior imprecisão na leitura;
- f) o tubo U contendo líquido manométrico deve permanecer à sombra;
- g) medidas com o tubo Pitot acoplados a manômetro diferencial em U, devem ser executadas se mantida vazão constante. Em caso de vazões variáveis recomenda-se o uso de registradores de pressão diferencial;
- h) as leituras do diferencial de pressão devem ser feitas segundo uma tangente aos meniscos com o tubo em U na vertical (Figura 12);
- i) o sistema transmissor de pressão deve ser absolutamente estanque.

5.5 Verificação da densidade real do líquido manométrico

5.5.1 Considerações preliminares

A densidade real dos líquidos manométricos utilizados nem sempre é igual a nominal, devido principalmente às variações de temperatura. É necessário determinar a densidade real dos mesmos imediatamente após a medição da velocidade média central e sob as mesmas condições (Vide Figura 15).

5.5.2 Determinação da densidade real do líquido manométrico

Considerando o equilíbrio no nível NN:

$$ax' = bx + cx'$$

$$x' (a - c) = bx$$

temos: $a - c = b + d$

$$x' (b + d) = bx \quad x = \left(\frac{b}{b} + \frac{d}{b}\right) x' \quad x' = 1 \text{ (densidade da água)}$$

$x = 1 + \frac{d}{b}$ sendo: x = densidade do líquido manométrico
 d = diferença entre as colunas de água
 b = diferença entre as colunas do líquido manométrico

A densidade real é determinada através da média de sete relações $\frac{d}{b}$.

$$d_r = 1 + \frac{\sum_{i=1}^7 \frac{d}{b}}{7}$$

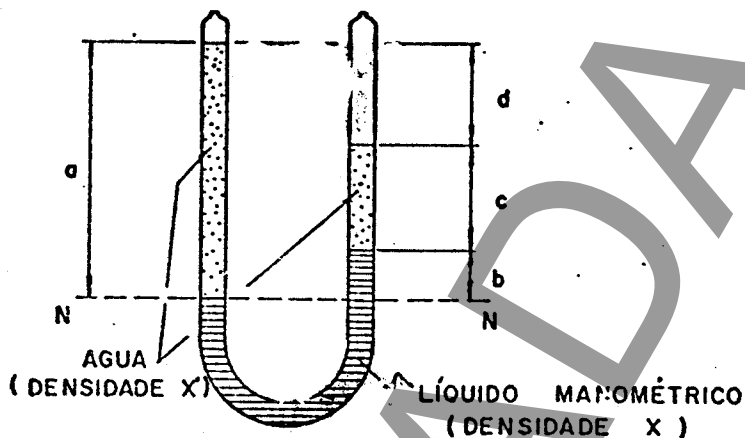


FIGURA 15 - Esquema do tubo em U, para obtenção da densidade real.

5.5.3 Cuidados quando da verificação da densidade real

Na verificação da densidade real deve ser observado o seguinte:

- as diferenças de coluna d'água deverão ser medidas somente na parte útil, parte retilínea do tubo em U;
- as diferenças de coluna são estabelecidas pela retirada paulatina de água do ramo do tubo em U que apresenta uma maior coluna de líquido manométrico.

NOTA: Os valores de b e d citados em 5.5.2 sempre que possível devem ser superiores a 50 mm, os valores da relação d/b discrepantes devem ser abandonados.

5.6 Cálculo da vazão instantânea

5.6.1 Introdução

Apos determinação do diâmetro da tubulação, verificação da projeção do registro de derivação, determinação do fator de velocidade feita uma série de leituras da velocidade central e determina a densidade real do líquido manométrico pode ser feito o cálculo da vazão instantânea.

5.6.2 Vazão instantânea

$$Q = A \times V$$

onde:

Q = Vazão, em m^3/s

A = Área da secção da tubulação no ponto de medição, em m^2

V = Velocidade média na secção, em m/s

Levando em consideração os fatores de correção quando da utilização do tubo Pitot, resulta:

$$Q_p = FV \times V_c \times C_d \times S_c \times C_t \times C_{diâmetro}$$

onde:

Q_p = Vazão obtida com tubo Pitot, em m^3/s

FV = Fator de velocidade

V_c = Velocidade Média Central, em m/s

C_d = Coeficiente de Correção da Densidade

S_c = Área corrigida devido à obstrução causada pelo tubo Pitot, em m^2

C_t = Coeficiente de correção da área devido à projeção do registro de derivação

C_{di} = Coeficiente de correção do diâmetro devido a variação existente entre diâmetros real e nominal.

NOTA: A obtenção dos fatores que entram na fórmula da vazão instantânea com tubo Pitot acham-se nos itens 5.6.3 a 5.6.8, inclusive.

5.6.3 Fator de Velocidade (FV)

O fator de velocidade é a relação entre a velocidade média na seção e a velocidade central. É obtido levantando-se a curva de velocidades, ou traverse, como descrito em 5.3.3.

$$FV = \frac{\sum_{1}^{10} \sqrt{h}}{10 \sqrt{h_c}}$$

onde:

FV = Fator de Velocidade

h = Deflexão em cada ponto

h_c = Deflexão central

5.6.4 Velocidade Média Central (V_c)

A velocidade média central é obtida com a média das velocidades, conforme descrito em 5.4. A velocidade é retirada de tabelas inclusas no presente trabalho em função do líquido manométrico utilizado e do valor do diferencial de pressão lido no tubo U , em mm , (Tabela 1 - Anexo A).

NOTA: No anexo A são apresentadas tabelas que fornecem a velocidade em função do líquido manométrico e das deflexões.

5.6.5 Correção da densidade do líquido manométrico (C_d)

O fator (C_d) de correção da densidade é obtido pela fórmula:

$$C_d = \sqrt{\frac{d_r - 1,00}{d_n - 1,00}}$$

onde:

C_d = Coeficiente de correção da densidade

d_r = Densidade real obtida conforme 5.5.2

d_n = Densidade nominal

5.6.6 Área corrigida devido à obstrução do tubo Pitot com as tomadas pitométricas posicionadas no centro da tubulação

Com a introdução do tubo Pitot na tubulação há uma redução na área da seção, igual à área inserida do tubo Pitot, acarretando um aumento de velocidade proporcional à área reduzida (Tabela 2 - Anexo B).

NOTA: Os fatores de correção da Tabela do Anexo B, foram determinados através de medidas em laboratório em função do diâmetro nominal da tubulação.

5.6.7 Correção da projeção do registro de derivação (Ct)

O registro de derivação pode apresentar uma projeção interna à tubulação, a qual reduz a área da seção. Devido a essa redução foram determinados experimentalmente em laboratório fatores de correção, os quais constam do gráfico 1 do Anexo C, e são função de:

- da projeção do registro de derivação obtido conforme item 4.4.12 em mm;
- do diâmetro nominal da tubulação.

NOTA: Esta correção é necessária para diâmetros iguais ou menores que 300 mm. Para diâmetros maiores a mesma não é significativa.

5.6.8 Correção do diâmetro (Cdiâmetro)

O diâmetro interno das tubulações é diferente do nominal devido principalmente a tuberculização das paredes internas e defeitos de fabricação. Como este cálculo é baseado no diâmetro nominal, há necessidade de corrigi-lo através da relação:

$$C_{\text{diâmetro}} = \left(\frac{D_r}{D_n} \right)^2$$

onde:

Cdiâmetro = correção de diâmetro

Dr = diâmetro real obtido segundo item 4.4.1.1

Dn = diâmetro nominal

5.7 Precisão teórica do método de medição de vazão

5.7.1 Precisão na indicação da deflexão

A fórmula da velocidade, admitindo-se como constante o coeficiente do instrumento, pode ser escrita:

$$v = ch^{1/2}$$

Diferenciando-se esta expressão, temos:

$$dv = \frac{1}{2} dh \quad \text{ou} \quad \epsilon^v = \frac{dv}{v} = \frac{1}{2} \cdot \frac{dh}{h} = \frac{1}{2} \epsilon^h$$

Esta expressão indica que o erro relativo de velocidade é igual à metade do erro da medida entre as colunas de líquido manométrico.

O erro máximo relativo encontra-se nas pequenas deflexões e, admitindo-se um erro de ± 1 mm numa deflexão do líquido manométrico de 50 mm, o erro introduzido na velocidade seria:

$$\epsilon^h = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{50} \cdot 100 = \pm 1\%$$

5.7.2 Influência da angularidade entre a linha de corrente e o eixo do orifício de impacto

O ângulo entre o eixo do orifício de impacto e a trajetória das linhas de corrente pode ocorrer quando:

- a) o Pitot não for colocado no alinhamento da tubulação. Experiências em laboratório indicam que uma inclinação aproximada de até 10° não altera a deflexão;
- b) o ponto de medição acha-se sob a influência de singularidades provocando um desvio nas linhas de corrente. Este efeito pode ser minimizado colocando o ponto de medição como indicado no ítem 4.3.2.

Também neste caso foi observado que uma inclinação aproximada do Pitot, de 10° , não altera a deflexão.

5.7.3 Influência da turbulência do escoamento

5.7.3.1 Em regime turbulento a velocidade local sofre uma variação de intensidade de $\pm \Delta V$ e conseqüentemente uma variação na pressão dinâmica (pulsação). Se as velocidades forem obtidas através da média das pressões (deflexões) o valor será maior do que o real. Esse efeito pode ser evitado, calculando-se a velocidade média central através da média das velocidades individuais medidas a cada 30 seg.

5.7.3.2 No escoamento turbulento, as partículas sofrem desvios de instante a instante no sentido do escoamento, provocando variações no ângulo de aproximação. Esses efeitos foram objetos de ensaios em laboratório tendo sido verificado que as pulsações causam pequena alteração na velocidade.

5.7.3.3 Para as variações do ângulo de aproximação, verificou-se que o ângulo médio é menor que 3° para qualquer diâmetro, não provocando erro significativo. Para tubos Pitot admiti-se um erro máximo em medidas de campo de 2%.

NOTA: No Anexo E encontra-se um exemplo de cálculo de vazão instantânea.

ANEXO A

TABELA A-1 - Velocidade em m/s, em função da densidade nominal do líquido manométrico utilizado e do diferencial de pressão lido no tubo em "U"

Deflexão mm	Densidade Nominal do Líquido Manométrico				
	d_r 1,11	d_r 1,25	d_r 1,60	d_r 2,90	d_r 13,58
1	0,042	0,064	0,098	0,173	0,439
2	0,060	0,090	0,138	0,244	0,618
3	0,073	0,109	0,169	0,298	0,755
4	0,084	0,126	0,194	0,343	0,870
5	0,094	0,141	0,217	0,383	0,972
6	0,103	0,154	0,237	0,419	1,064
7	0,111	0,166	0,256	0,451	1,147
8	0,118	0,177	0,273	0,482	1,234
9	0,125	0,188	0,289	0,511	1,299
10	0,132	0,198	0,305	0,538	1,369
11	0,138	0,207	0,320	0,564	1,433
12	0,145	0,217	0,334	0,589	1,496
13	0,150	0,225	0,347	0,613	1,557
14	0,156	0,234	0,360	0,635	1,615
15	0,161	0,242	0,372	0,658	1,671
16	0,167	0,250	0,385	0,679	1,725
17	0,172	0,258	0,396	0,700	1,777
18	0,176	0,265	0,407	0,720	1,827
19	0,181	0,272	0,419	0,739	1,877
20	0,186	0,279	0,429	0,758	1,927
21	0,191	0,286	0,440	0,777	1,972
22	0,196	0,292	0,450	0,794	2,018
23	0,199	0,299	0,460	0,812	2,063
24	0,204	0,305	0,469	0,830	2,106
25	0,207	0,311	0,479	0,845	2,150
26	0,212	0,317	0,488	0,862	2,191
27	0,216	0,324	0,498	0,878	2,232
28	0,220	0,330	0,507	0,894	2,272
29	0,224	0,336	0,516	0,910	2,312
30	0,227	0,341	0,524	0,926	2,352
31	0,231	0,346	0,533	0,941	2,390
32	0,235	0,351	0,541	0,956	2,427
33	0,239	0,357	0,550	0,971	2,464
34	0,242	0,362	0,558	0,985	2,500
35	0,245	0,367	0,566	0,999	2,536
36	0,248	0,372	0,574	1,013	2,572
37	0,252	0,378	0,582	1,027	2,607
38	0,255	0,383	0,589	1,040	2,642
39	0,259	0,388	0,597	1,054	2,676
40	0,262	0,392	0,604	1,067	2,710

EM	d _r 1,11	d _r 1,25	d _r 1,60	d _r 2,90	d _r 13,58
41	0,265	0,397	0,612	1,080	2,743
42	0,268	0,402	0,619	1,093	2,775
43	0,271	0,407	0,627	1,106	2,808
44	0,274	0,411	0,634	1,118	2,840
45	0,277	0,416	0,641	1,131	2,872
46	0,280	0,420	0,648	1,143	2,903
47	0,284	0,425	0,655	1,155	2,934
48	0,287	0,429	0,661	1,167	2,964
49	0,290	0,434	0,668	1,179	2,994
50	0,292	0,438	0,674	1,191	3,024
51	0,295	0,442	0,681	1,203	3,054
52	0,298	0,446	0,688	1,215	3,083
53	0,301	0,451	0,694	1,227	3,112
54	0,303	0,455	0,700	1,238	3,141
55	0,306	0,459	0,707	1,249	3,172
56	0,309	0,463	0,713	1,260	3,202
57	0,312	0,467	0,720	1,271	3,228
58	0,314	0,471	0,726	1,281	3,254
59	0,317	0,475	0,732	1,292	3,282
60	0,320	0,479	0,738	1,303	3,309
61	0,323	0,483	0,744	1,314	3,336
62	0,325	0,487	0,750	1,324	3,363
63	0,328	0,491	0,756	1,335	3,390
64	0,330	0,494	0,762	1,345	3,416
65	0,333	0,498	0,768	1,355	3,442
66	0,335	0,502	0,773	1,365	3,468
67	0,338	0,506	0,779	1,376	3,494
68	0,340	0,509	0,785	1,386	3,519
69	0,343	0,513	0,791	1,396	3,545
70	0,345	0,517	0,797	1,406	3,570
71	0,348	0,521	0,802	1,416	3,595
72	0,350	0,524	0,807	1,425	3,620
73	0,353	0,528	0,813	1,435	3,645
74	0,355	0,531	0,818	1,444	3,669
75	0,357	0,535	0,824	1,454	3,695
76	0,359	0,538	0,830	1,464	3,720
77	0,362	0,542	0,835	1,474	3,743
78	0,364	0,545	0,840	1,483	3,766
79	0,366	0,549	0,845	1,493	3,790
80	0,368	0,552	0,850	1,502	3,813

mm	d r	d r	d r	d r	d r
	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
81	0,371	0,556	0,856	1,511	3,837
82	0,373	0,559	0,861	1,520	3,860
83	0,376	0,563	0,866	1,529	3,883
84	0,378	0,566	0,871	1,538	3,906
85	0,380	0,569	0,876	1,547	3,929
86	0,382	0,572	0,881	1,556	3,951
87	0,384	0,576	0,887	1,565	3,974
88	0,386	0,579	0,892	1,574	3,997
89	0,389	0,582	0,897	1,583	4,019
90	0,391	0,585	0,901	1,591	4,041
91	0,393	0,589	0,907	1,600	4,063
92	0,395	0,592	0,912	1,609	4,085
93	0,397	0,595	0,917	1,618	4,107
94	0,398	0,598	0,921	1,626	4,129
95	0,401	0,601	0,926	1,634	4,152
96	0,403	0,604	0,931	1,642	4,172
97	0,405	0,607	0,936	1,651	4,194
98	0,407	0,610	0,940	1,659	4,215
99	0,410	0,613	0,945	1,668	4,236
100	0,412	0,616	0,950	1,676	4,256
101	0,414	0,619	0,955	1,685	4,278
102	0,415	0,622	0,959	1,693	4,299
103	0,417	0,625	0,964	1,701	4,320
104	0,419	0,628	0,968	1,709	4,340
105	0,421	0,631	0,973	1,717	4,360
106	0,423	0,634	0,977	1,725	4,380
107	0,425	0,638	0,982	1,733	4,401
108	0,427	0,641	0,986	1,741	4,421
109	0,429	0,644	0,991	1,749	4,441
110	0,431	0,646	0,996	1,757	4,461
111	0,433	0,649	1,000	1,765	4,481
112	0,435	0,652	1,004	1,773	4,501
113	0,437	0,655	1,009	1,781	4,521
114	0,439	0,658	1,013	1,788	4,541
115	0,441	0,661	1,017	1,796	4,561
116	0,442	0,663	1,021	1,804	4,580
117	0,445	0,666	1,026	1,812	4,599
118	0,447	0,669	1,030	1,819	4,618
119	0,449	0,672	1,035	1,827	4,637
120	0,450	0,674	1,039	1,834	4,656

	d_r	d_r	d_r	d_r	d_r
mm	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
121	0,452	0,677	1,043	1,842	4,676
122	0,453	0,680	1,047	1,849	4,695
123	0,455	0,683	1,052	1,857	4,714
124	0,457	0,686	1,056	1,864	4,732
125	0,459	0,689	1,061	1,872	4,751
126	0,460	0,691	1,065	1,879	4,770
127	0,463	0,694	1,069	1,886	4,789
128	0,465	0,696	1,071	1,893	4,807
129	0,467	0,699	1,077	1,900	4,826
130	0,468	0,701	1,081	1,908	4,844
131	0,470	0,704	1,085	1,914	4,863
132	0,472	0,707	1,089	1,922	4,881
133	0,474	0,710	1,093	1,930	4,899
134	0,475	0,713	1,097	1,937	4,917
135	0,477	0,716	1,101	1,944	4,935
136	0,479	0,718	1,105	1,951	4,953
137	0,481	0,721	1,109	1,958	4,971
138	0,482	0,723	1,113	1,965	4,988
139	0,484	0,726	1,118	1,972	5,006
140	0,486	0,728	1,122	1,979	5,024
141	0,488	0,731	1,126	1,986	5,042
142	0,489	0,733	1,129	1,992	5,060
143	0,491	0,736	1,133	2,000	5,078
144	0,492	0,738	1,137	2,007	5,095
145	0,494	0,741	1,141	2,014	5,112
146	0,495	0,743	1,145	2,021	5,129
147	0,497	0,746	1,149	2,028	5,147
148	0,499	0,748	1,153	2,034	5,164
149	0,501	0,751	1,157	2,041	5,181
150	0,502	0,753	1,160	2,047	5,198
151	0,504	0,756	1,164	2,054	5,215
152	0,506	0,758	1,167	2,061	5,232
153	0,507	0,761	1,171	2,068	5,249
154	0,508	0,763	1,175	2,075	5,266
155	0,510	0,766	1,179	2,081	5,283
156	0,512	0,768	1,183	2,087	5,300
157	0,514	0,770	1,187	2,094	5,313
158	0,515	0,772	1,190	2,101	5,333
159	0,517	0,775	1,194	2,108	5,350
160	0,519	0,778	1,197	2,114	5,366

	d_r	d_r	d_r	d_r	d_r
mm	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
161	0,520	0,780	1,201	2,121	5,383
162	0,521	0,782	1,205	2,127	5,399
163	0,523	0,785	1,209	2,133	5,415
164	0,525	0,787	1,212	2,139	5,432
165	0,527	0,788	1,216	2,146	5,448
166	0,528	0,791	1,220	2,152	5,464
167	0,530	0,794	1,224	2,159	5,480
168	0,531	0,797	1,227	2,165	5,496
169	0,533	0,799	1,230	2,172	5,513
170	0,535	0,801	1,233	2,178	5,529
171	0,536	0,803	1,237	2,184	5,545
172	0,537	0,805	1,241	2,190	5,560
173	0,539	0,808	1,245	2,197	5,576
174	0,541	0,810	1,248	2,203	5,592
175	0,542	0,813	1,252	2,209	5,609
176	0,543	0,815	1,255	2,215	5,625
177	0,545	0,817	1,259	2,222	5,641
178	0,547	0,819	1,262	2,228	5,656
179	0,548	0,822	1,266	2,234	5,672
180	0,549	0,824	1,269	2,240	5,687
181	0,551	0,827	1,272	2,246	5,703
182	0,553	0,829	1,275	2,250	5,718
183	0,554	0,831	1,279	2,259	5,734
184	0,555	0,833	1,283	2,265	5,749
185	0,557	0,835	1,286	2,271	5,765
186	0,558	0,837	1,289	2,277	5,780
187	0,560	0,840	1,293	2,283	5,795
188	0,561	0,842	1,296	2,289	5,810
189	0,563	0,844	1,300	2,295	5,926
190	0,564	0,846	1,303	2,300	5,841
191	0,566	0,848	1,307	2,306	5,856
192	0,567	0,850	1,310	2,312	5,871
193	0,569	0,853	1,314	2,318	5,886
194	0,570	0,855	1,317	2,324	5,901
195	0,572	0,857	1,320	2,330	5,916
196	0,573	0,859	1,323	2,336	5,931
197	0,575	0,861	1,326	2,342	5,946
198	0,576	0,863	1,329	2,347	5,961
199	0,578	0,866	1,333	2,353	5,976
200	0,579	0,868	1,336	2,359	5,991

mm	d _r 1,11	d _r 1,25	d _r 1,60	d _r 2,90	d _r 13,58
201	0,580	0,870	1,340	2,365	6,006
202	0,581	0,872	1,343	2,371	6,020
203	0,583	0,874	1,346	2,377	6,035
204	0,584	0,876	1,349	2,382	6,049
205	0,586	0,879	1,353	2,388	6,064
206	0,587	0,881	1,356	2,394	6,078
207	0,589	0,883	1,360	2,400	6,093
208	0,590	0,885	1,363	2,405	6,107
209	0,592	0,887	1,366	2,401	6,122
210	0,593	0,889	1,369	2,416	6,136
211	0,594	0,892	1,373	2,422	6,151
212	0,595	0,894	1,376	2,428	6,165
213	0,597	0,896	1,379	2,434	6,180
214	0,598	0,897	1,381	2,439	6,194
215	0,600	0,899	1,385	2,445	6,208
216	0,601	0,901	1,388	2,450	6,222
217	0,603	0,904	1,391	2,456	6,236
218	0,604	0,906	1,394	2,461	6,250
219	0,606	0,908	1,397	2,467	6,265
220	0,607	0,910	1,400	2,472	6,279
221	0,608	0,912	1,403	2,478	6,293
222	0,609	0,914	1,406	2,483	6,306
223	0,611	0,916	1,410	2,489	6,321
224	0,612	0,918	1,413	2,494	6,335
225	0,613	0,920	1,416	2,500	6,349
226	0,614	0,922	1,419	2,505	6,362
227	0,616	0,924	1,422	2,511	6,376
228	0,617	0,926	1,425	2,517	6,390
229	0,619	0,928	1,428	2,522	6,404
230	0,620	0,930	1,431	2,527	6,417
231	0,621	0,932	1,434	2,533	6,432
232	0,622	0,934	1,437	2,538	6,446
233	0,624	0,936	1,440	2,544	6,459
234	0,626	0,938	1,443	2,549	6,472
235	0,627	0,940	1,447	2,555	6,486
236	0,628	0,942	1,450	2,560	6,500
237	0,630	0,944	1,453	2,565	6,514
238	0,631	0,945	1,456	2,570	6,527
239	0,633	0,948	1,459	2,576	6,541
240	0,634	0,950	1,462	2,581	6,554

mm	d _r 1,11	d _r 1,25	d _r 1,60	d _r 2,90	d _r 13,58
241	0,635	0,952	1,465	2,586	6,567
242	0,636	0,953	1,468	2,591	6,580
243	0,638	0,956	1,471	2,596	6,594
244	0,639	0,958	1,474	2,601	6,608
245	0,640	0,960	1,477	2,607	6,621
246	0,641	0,961	1,480	2,613	6,634
247	0,642	0,963	1,483	2,618	6,647
248	0,643	0,965	1,485	2,623	6,660
249	0,645	0,967	1,488	2,628	6,674
250	0,646	0,969	1,491	2,633	6,687
251	0,647	0,971	1,494	2,638	6,700
252	0,648	0,973	1,497	2,643	6,713
253	0,650	0,975	1,500	2,649	6,726
254	0,651	0,977	1,503	2,654	6,739
255	0,653	0,979	1,506	2,660	6,753
256	0,654	0,980	1,509	2,665	6,766
257	0,655	0,982	1,512	2,670	6,779
258	0,656	0,984	1,514	2,675	6,792
259	0,658	0,986	1,517	2,680	6,805
260	0,659	0,988	1,520	2,685	6,817
261	0,660	0,990	1,524	2,690	6,830
262	0,661	0,991	1,527	2,695	6,843
263	0,663	0,994	1,530	2,700	6,856
264	0,664	0,996	1,532	2,705	6,869
265	0,666	0,998	1,535	2,710	6,882
266	0,667	0,999	1,538	2,715	6,895
267	0,668	1,001	1,541	2,720	6,908
268	0,668	1,002	1,544	2,725	6,920
269	0,670	1,005	1,547	2,730	6,933
270	0,671	1,007	1,550	2,735	6,946
271	0,673	1,009	1,553	2,740	6,959
272	0,674	1,010	1,555	2,745	6,971
273	0,675	1,012	1,558	2,750	6,984
274	0,676	1,014	1,561	2,755	6,996
275	0,678	1,016	1,564	2,760	7,009
276	0,679	1,017	1,566	2,765	7,021
277	0,680	1,019	1,569	2,770	7,034
278	0,681	1,021	1,572	2,775	7,046
279	0,682	1,023	1,575	2,780	7,059
280	0,683	1,025	1,577	2,785	7,072

mm	d _r 1,11	d _r 1,25	d _r 1,60	d _r 2,90	d _r 13,58
281	0,685	1,027	1,580	2,790	7,084
282	0,686	1,028	1,583	2,795	7,096
283	0,687	1,030	1,586	2,800	7,109
284	0,688	1,032	1,588	2,804	7,121
285	0,690	1,034	1,591	2,809	7,133
286	0,691	1,035	1,594	2,813	7,145
287	0,692	1,037	1,597	2,819	7,158
288	0,693	1,039	1,600	2,824	7,171
289	0,694	1,041	1,603	2,829	7,183
290	0,695	1,042	1,605	2,833	7,195
291	0,697	1,044	1,608	2,838	7,207
292	0,698	1,046	1,611	2,843	7,219
293	0,699	1,048	1,614	2,848	7,232
294	0,700	1,050	1,616	2,853	7,244
295	0,701	1,052	1,619	2,858	7,256
296	0,702	1,053	1,621	2,862	7,268
297	0,704	1,055	1,624	2,867	7,280
298	0,705	1,057	1,627	2,871	7,292
299	0,706	1,059	1,630	2,877	7,305
300	0,707	1,060	1,632	2,882	7,317
301	0,708	1,062	1,635	2,887	7,329
302	0,709	1,064	1,637	2,891	7,340
303	0,711	1,066	1,640	2,896	7,352
304	0,712	1,067	1,642	2,900	7,364
305	0,713	1,099	1,645	2,905	7,376
306	0,714	1,071	1,648	2,909	7,387
307	0,715	1,073	1,651	2,914	7,399
308	0,716	1,074	1,653	2,919	7,411
309	0,718	1,076	1,655	2,924	7,424
310	0,719	1,078	1,659	2,929	7,436
311	0,720	1,080	1,662	2,933	7,448
312	0,720	1,081	1,664	2,937	7,459
313	0,722	1,083	1,667	2,942	7,471
314	0,723	1,084	1,669	2,947	7,483
315	0,725	1,086	1,672	2,952	7,495
316	0,726	1,088	1,674	2,956	7,506
317	0,727	1,090	1,677	2,961	7,518
318	0,727	1,091	1,679	2,965	7,529
319	0,729	1,093	1,682	2,970	7,541
320	0,730	1,095	1,685	2,974	7,553

mm	d _r 1,11	d _r 1,25	d _r 1,60	d _r 2,90	d _r 13,50
321	0,731	1,097	1,688	2,979	7,564
322	0,732	1,098	1,690	2,983	7,575
323	0,733	1,100	1,692	2,988	7,587
324	0,734	1,101	1,694	2,993	7,599
325	0,736	1,103	1,698	2,997	7,611
326	0,737	1,104	1,701	3,001	7,622
327	0,738	1,106	1,704	3,006	7,634
328	0,739	1,108	1,706	3,010	7,645
329	0,740	1,110	1,709	3,015	7,657
330	0,741	1,111	1,711	3,020	7,668
331	0,742	1,113	1,714	3,024	7,680
332	0,743	1,115	1,716	3,028	7,691
333	0,745	1,117	1,719	3,033	7,703
334	0,746	1,118	1,721	3,038	7,714
335	0,747	1,120	1,723	3,043	7,726
336	0,747	1,121	1,725	3,047	7,737
337	0,749	1,123	1,728	3,051	7,748
338	0,750	1,124	1,731	3,055	7,759
339	0,751	1,126	1,734	3,060	7,771
340	0,752	1,128	1,736	3,065	7,782
341	0,753	1,130	1,739	3,069	7,793
342	0,754	1,131	1,741	3,073	7,804
343	0,755	1,133	1,744	3,078	7,815
344	0,756	1,134	1,746	3,082	7,826
345	0,758	1,136	1,749	3,087	7,838
346	0,759	1,138	1,751	3,091	7,850
347	0,760	1,139	1,754	3,096	7,861
348	0,760	1,140	1,756	3,100	7,872
349	0,762	1,142	1,759	3,104	7,883
350	0,763	1,144	1,761	3,108	7,894
351	0,764	1,146	1,764	3,113	7,905
352	0,765	1,147	1,766	3,117	7,916
353	0,766	1,149	1,769	3,122	7,928
354	0,767	1,150	1,771	3,126	7,939
355	0,768	1,152	1,774	3,130	7,950
356	0,769	1,153	1,776	3,134	7,961
357	0,771	1,155	1,779	3,139	7,972
358	0,772	1,157	1,781	3,144	7,982
359	0,773	1,159	1,784	3,148	7,994
360	0,773	1,160	1,786	3,152	8,005

mm	d _r 1,11	d _r 1,25	d _r 1,60	d _r 2,90	d _r 13,58
361	0,775	1,162	1,789	3,157	8,016
362	0,776	1,163	1,791	3,161	8,027
363	0,777	1,165	1,794	3,165	8,038
364	0,778	1,166	1,796	3,169	8,048
365	0,779	1,168	1,798	3,174	8,059
366	0,780	1,170	1,800	3,178	8,070
367	0,781	1,171	1,803	3,182	8,081
368	0,782	1,172	1,805	3,186	8,092
369	0,783	1,174	1,808	3,191	8,103
370	0,784	1,176	1,810	3,195	8,113
371	0,785	1,178	1,813	3,199	8,124
372	0,786	1,179	1,815	3,203	8,134
373	0,787	1,181	1,818	3,208	8,145
374	0,788	1,182	1,820	3,212	8,156
375	0,790	1,184	1,823	3,216	8,167
376	0,791	1,185	1,825	3,220	8,178
377	0,792	1,187	1,827	3,225	8,189
378	0,792	1,188	1,829	3,229	8,199
379	0,793	1,190	1,832	3,233	8,210
380	0,794	1,191	1,834	3,237	8,221
381	0,796	1,193	1,837	3,242	8,232
382	0,797	1,195	1,839	3,246	8,242
383	0,798	1,196	1,842	3,250	8,253
384	0,798	1,197	1,844	3,254	8,263
385	0,800	1,199	1,846	3,259	8,274
386	0,801	1,201	1,848	3,263	8,284
387	0,802	1,202	1,851	3,267	8,295
388	0,803	1,203	1,853	3,270	8,306
389	0,804	1,205	1,856	3,275	8,317
390	0,804	1,207	1,858	3,279	8,327
391	0,806	1,208	1,861	3,283	8,338
392	0,807	1,209	1,863	3,287	8,348
393	0,808	1,211	1,865	3,292	8,359
394	0,809	1,213	1,867	3,296	8,369
395	0,810	1,214	1,870	3,000	8,379
396	0,810	1,215	1,872	3,303	8,389
397	0,812	1,217	1,874	3,308	8,400
398	0,813	1,219	1,876	3,312	8,411
399	0,814	1,220	1,879	3,316	8,421
400	0,815	1,221	1,881	3,320	8,431

mm	d_r 1,11	d_r 1,25	d_r 1,60	d_r 2,90	d_r 13,58
401	0,816	1,223	1,884	3,324	8,441
402	0,817	1,225	1,886	3,328	8,451
403	0,818	1,226	1,888	3,332	8,462
404	0,819	1,227	1,890	3,336	8,472
405	0,820	1,229	1,893	3,341	8,483
406	0,821	1,231	1,895	3,345	8,493
407	0,822	1,232	1,898	3,349	8,504
408	0,823	1,233	1,900	3,352	8,514
409	0,824	1,235	1,902	3,357	8,524
410	0,825	1,237	1,904	3,361	8,534
411	0,826	1,238	1,907	3,365	8,545
412	0,827	1,239	1,909	3,369	8,555
413	0,828	1,241	1,911	3,373	8,566
414	0,829	1,243	1,913	3,377	8,576
415	0,830	1,244	1,916	3,381	8,586
416	0,830	1,245	1,918	3,385	8,595
417	0,832	1,247	1,920	3,389	8,606
418	0,833	1,249	1,922	3,393	8,616
419	0,834	1,250	1,925	3,397	8,627
420	0,835	1,251	1,927	3,401	8,637
421	0,836	1,253	1,929	3,405	8,647
422	0,837	1,254	1,931	3,409	8,657
423	0,838	1,256	1,934	3,413	8,667
424	0,838	1,257	1,936	3,417	8,676
425	0,840	1,259	1,938	3,421	8,687
426	0,841	1,260	1,940	3,425	8,697
427	0,842	1,262	1,943	3,429	8,707
428	0,843	1,263	1,945	3,433	8,717
429	0,844	1,265	1,948	3,437	8,727
430	0,844	1,266	1,950	3,441	8,737
431	0,845	1,268	1,952	3,445	8,747
432	0,846	1,269	1,954	3,448	8,757
433	0,848	1,271	1,956	3,453	8,767
434	0,849	1,272	1,958	3,457	8,777
435	0,850	1,274	1,961	3,461	8,788
436	0,850	1,274	1,963	3,464	8,798
437	0,851	1,276	1,965	3,468	8,808
438	0,852	1,277	1,967	3,472	8,817
439	0,853	1,279	1,970	3,476	9,827
440	0,854	1,281	1,972	3,480	8,836

nm	d _r	d _r	d _r	d _r	d _r
	1,11	1,25	1,60	2,90	13,58
441	0,855	1,282	1,974	3,484	8,847
442	0,856	1,283	1,976	3,487	8,857
443	0,857	1,285	1,979	3,492	8,867
444	0,858	1,287	1,981	3,496	8,876
445	0,859	1,288	1,983	3,500	8,886
446	0,860	1,289	1,985	3,503	8,896
447	0,861	1,291	1,987	3,507	8,906
448	0,862	1,292	1,989	3,511	8,916
449	0,863	1,293	1,991	3,515	8,926
450	0,863	1,294	1,993	3,518	8,935
451	0,865	1,296	1,996	3,522	8,945
452	0,866	1,298	1,998	3,526	8,955
453	0,867	1,299	2,000	3,530	8,965
454	0,868	1,300	2,002	3,534	8,974
455	0,869	1,302	2,005	3,538	8,984
456	0,869	1,303	2,007	3,541	8,994
457	0,870	1,305	2,009	3,545	9,003
458	0,871	1,306	2,011	3,549	9,012
459	0,872	1,308	2,014	3,553	9,023
460	0,873	1,309	2,016	3,557	9,033
461	0,874	1,310	2,018	3,561	9,043
462	0,874	1,311	2,020	3,564	9,052
463	0,876	1,313	2,022	3,568	9,062
464	0,877	1,314	2,024	3,572	9,072
465	0,878	1,316	2,026	3,576	9,081
466	0,879	1,317	2,028	3,580	9,090
467	0,880	1,319	2,031	3,584	9,100
468	0,881	1,320	2,033	3,588	9,109
469	0,882	1,322	2,035	3,592	9,119
470	0,882	1,323	2,037	3,595	9,129
471	0,883	1,324	2,039	3,599	9,138
472	0,884	1,325	2,041	3,602	9,147
473	0,885	1,327	2,043	3,606	9,157
474	0,886	1,328	2,045	3,610	9,166
475	0,887	1,330	2,048	3,614	9,176
476	0,888	1,331	2,050	3,618	9,185
477	0,889	1,333	2,052	3,622	9,195
478	0,890	1,334	2,053	3,625	9,205
479	0,891	1,335	2,056	3,629	9,214
480	0,892	1,336	2,058	3,632	9,223

mm	d _r 1,11	d _r 1,25	d _r 1,60	d _r 2,90	d _r 13,58
481	0,893	1,338	2,061	3,637	9,233
482	0,894	1,339	2,063	3,641	9,242
483	0,895	1,341	2,065	3,644	9,252
484	0,895	1,342	2,067	3,647	9,262
485	0,896	1,344	2,069	3,651	9,272
486	0,897	1,345	2,070	3,655	9,281
487	0,898	1,346	2,072	3,659	9,290
488	0,899	1,347	2,074	3,662	9,299
489	0,900	1,349	2,077	3,666	9,308
490	0,900	1,350	2,079	3,669	9,317
491	0,901	1,352	2,081	3,673	9,327
492	0,902	1,353	2,083	3,677	9,337
493	0,903	1,354	2,085	3,681	9,346
494	0,904	1,355	2,087	3,684	9,355
495	0,905	1,357	2,090	3,688	9,365
496	0,906	1,358	2,092	3,691	9,374
497	0,907	1,360	2,094	3,695	9,383
498	0,908	1,361	2,096	3,699	9,392
499	0,909	1,363	2,098	3,703	9,402
500	0,910	1,364	2,100	3,707	9,411
501	0,911	1,365	2,102	3,710	9,420
502	0,912	1,366	2,104	3,713	9,429
503	0,913	1,368	2,106	3,717	9,438
504	0,914	1,369	2,108	3,721	9,447
505	0,915	1,370	2,110	3,725	9,457
506	0,915	1,371	2,112	3,728	9,467
507	0,916	1,373	2,114	3,732	9,476
508	0,917	1,374	2,116	3,735	9,485
509	0,918	1,375	2,119	3,739	9,494
510	0,919	1,376	2,121	3,743	9,503
511	0,920	1,378	2,123	3,747	9,512
512	0,920	1,379	2,125	3,750	9,521
513	0,921	1,381	2,127	3,754	9,531
514	0,922	1,382	2,128	3,757	9,540
515	0,923	1,384	2,131	3,761	9,549
516	0,924	1,385	2,133	3,764	9,558
517	0,925	1,387	2,135	3,768	9,567
518	0,926	1,388	2,137	3,771	9,575
519	0,927	1,389	2,139	3,775	9,585
520	0,927	1,390	2,141	3,778	9,594

mm	d _r 1,11	d _r 1,25	d _r 1,60	d _r 2,90	d _r 13,58
521	0,928	1,392	2,143	3,782	9,604
522	0,929	1,393	2,145	3,786	9,613
523	0,930	1,394	2,147	3,790	9,622
524	0,931	1,395	2,149	3,793	9,631
525	0,932	1,397	2,151	3,797	9,640
526	0,932	1,398	2,153	3,800	9,648
527	0,933	1,399	2,155	3,804	9,658
528	0,934	1,400	2,157	3,807	9,667
529	0,935	1,402	2,159	3,811	9,676
530	0,936	1,403	2,161	3,814	9,684
531	0,937	1,405	2,163	3,818	9,694
532	0,938	1,406	2,165	3,822	9,703
533	0,939	1,407	2,167	3,825	9,712
534	0,939	1,408	2,169	3,828	9,720
535	0,940	1,410	2,171	3,832	9,729
536	0,941	1,411	2,173	3,835	9,738
537	0,942	1,412	2,175	3,839	9,747
538	0,943	1,413	2,177	3,843	9,756
539	0,944	1,415	2,179	3,846	9,766
540	0,945	1,416	2,181	3,849	9,775
541	0,946	1,417	2,184	3,853	9,783
542	0,946	1,418	2,186	3,856	9,791
543	0,947	1,420	2,188	3,860	9,801
544	0,948	1,421	2,189	3,863	9,810
545	0,949	1,423	2,191	3,867	9,819
546	0,950	1,424	2,193	3,870	9,828
547	0,951	1,425	2,195	3,874	9,837
548	0,952	1,426	2,197	3,877	9,845
549	0,953	1,428	2,199	3,881	9,854
550	0,953	1,429	2,201	3,884	9,862
551	0,954	1,430	2,203	3,888	9,871
552	0,955	1,431	2,205	3,891	9,880
553	0,956	1,433	2,207	3,895	9,889
554	0,957	1,434	2,208	3,899	9,898
555	0,958	1,435	2,211	3,902	9,907
556	0,958	1,436	2,213	3,905	9,916
557	0,959	1,438	2,215	3,909	9,925
558	0,960	1,439	2,217	3,912	9,934
559	0,961	1,441	2,219	3,916	9,943
560	0,962	1,442	2,221	3,919	9,951

mm	d _r 1,11	d _r 1,25	d _r 1,60	d _r 2,90	d _r 13,58
561	0,963	1,443	2,223	3,923	9,960
562	0,964	1,444	2,225	3,926	9,968
563	0,965	1,446	2,227	3,930	9,977
564	0,965	1,447	2,228	3,933	9,986
565	0,966	1,448	2,230	3,937	9,995
566	0,967	1,449	2,232	3,940	10,003
567	0,968	1,451	2,234	3,944	10,012
568	0,969	1,452	2,236	3,947	10,021
569	0,970	1,454	2,238	3,951	10,030
570	0,971	1,455	2,240	3,954	10,038
571	0,972	1,456	2,242	3,957	10,047
572	0,972	1,457	2,243	3,960	10,055
573	0,973	1,459	2,246	3,964	10,064
574	0,974	1,460	2,248	3,967	10,073
575	0,975	1,461	2,250	3,971	10,080
576	0,976	1,462	2,252	3,974	10,090
577	0,977	1,463	2,254	3,978	10,099
578	0,977	1,464	2,255	3,981	10,108
579	0,978	1,466	2,257	3,984	10,116
580	0,979	1,467	2,259	3,987	10,124
581	0,980	1,468	2,261	3,991	10,133
582	0,981	1,469	2,263	3,994	10,141
583	0,981	1,471	2,265	3,998	10,150
584	0,982	1,472	2,267	4,001	10,159
585	0,983	1,473	2,269	4,005	10,168
586	0,984	1,474	2,271	4,008	10,176
587	0,985	1,476	2,273	4,011	10,185
588	0,985	1,477	2,275	4,014	10,194
589	0,986	1,478	2,277	4,018	10,202
590	0,987	1,479	2,278	4,021	10,209
591	0,988	1,481	2,281	4,025	10,218
592	0,989	1,482	2,283	4,028	10,227
593	0,990	1,483	2,285	4,032	10,236
594	0,990	1,484	2,286	4,035	10,244
595	0,991	1,486	2,288	4,038	10,253
596	0,992	1,487	2,290	4,041	10,262
597	0,993	1,488	2,292	4,045	10,271
598	0,994	1,489	2,294	4,048	10,279
599	0,995	1,489	2,294	4,048	10,287
600	0,996	1,491	2,297	4,055	10,295

ANEXO B

TABELA B-1 - Área corrigida devido à redução da área da seção, provocada pelo Pitot posicionando no centro da tubulação.

DIÂMETRO mm	ÁREA m ²	ÁREA CORRIGIDA m ²
100	0,00785	0,007527
150	0,01767	0,017188
200	0,03142	0,030673
250	0,04909	0,048105
300	0,07069	0,069467
350	0,09621	0,094749
400	0,12566	0,123961
450	0,15904	0,157103
500	0,19635	0,194175
600	0,28274	0,280088
700	0,38485	0,381722
750	0,44179	0,438424
800	0,50265	0,499051
900	0,63617	0,632090
1000	0,78540	0,780843
1200	1,13097	1,125461
1250	1,22719	1,221443
1500	1,76715	1,760212
1750	2,40528	2,397151
2000	3,14159	3,132271

NOTA: Esta Tabela foi calculada com os valores dos elementos da Figura 8.

ANEXO C

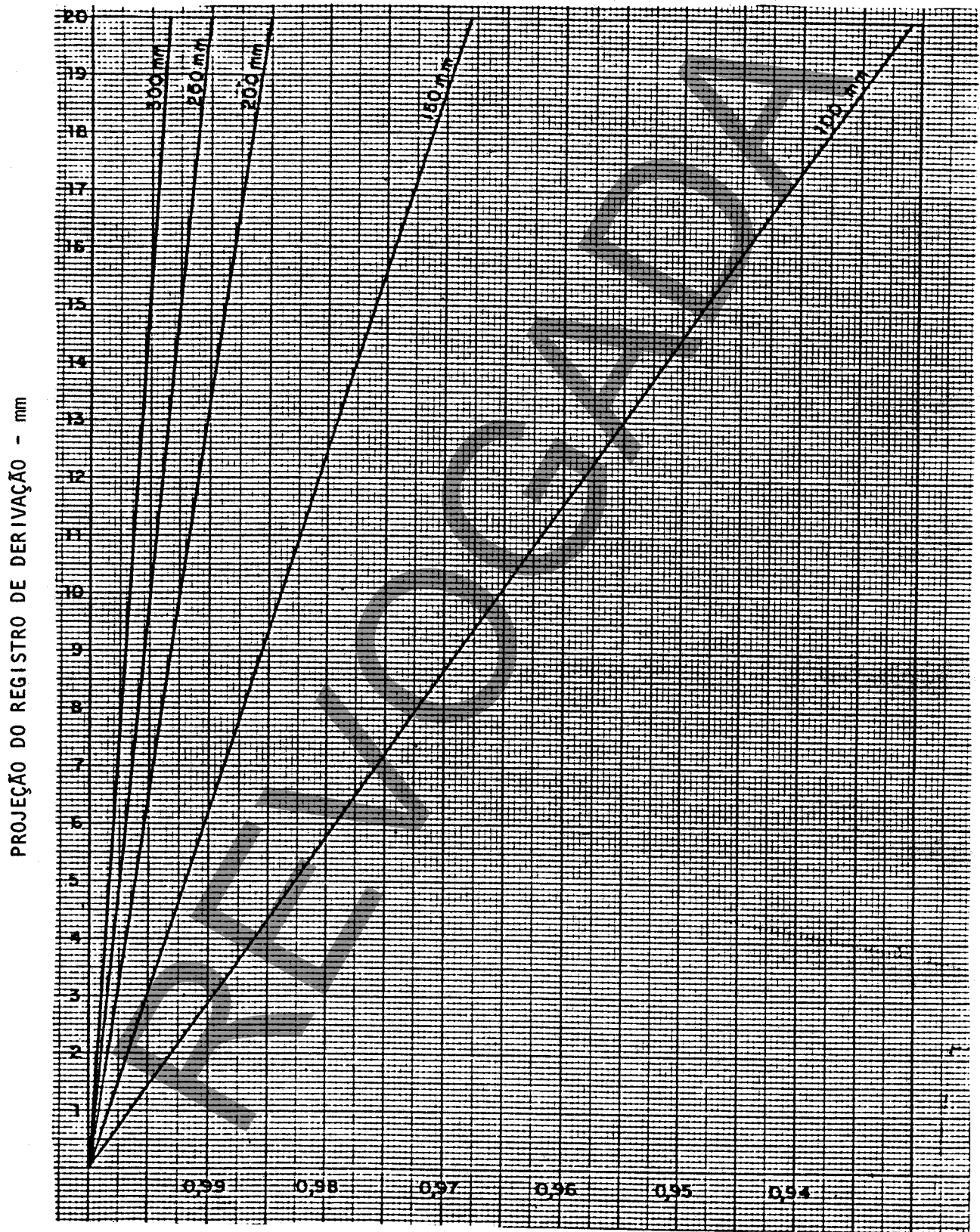


FIGURA C-1 - Coeficiente da correção proveniente da projeção do registro de derivação à área interna do tubo.

ANEXO D - EXEMPLO PARA CÁLCULO DE R_n

$$R_n = R \sqrt{\frac{(2n - 1)}{2n}}$$

D-1 Para n = 1

$$R_1 = R \sqrt{\frac{(2 \times 1) - 1}{2N}} = R \sqrt{\frac{1}{2N}}$$

D-2 Para n = 2

$$R_2 = R \sqrt{\frac{(2 \times 2) - 1}{2N}} = R \sqrt{\frac{3}{2N}}$$

onde:

R₁ = raio médio do anel nº 1

R₂ = raio médio do anel nº 2

ANEXO E - CÁLCULO DE VAZÃO INSTANTÂNEA

(Exemplo)

São apresentados a seguir como exemplificação os cálculos para determinação da vazão instantânea em uma linha com diâmetro de 350 mm. Foram instalados 2 (dois) tubos Pitot nos extremos de uma adutora com extensão de 4662 m e diâmetros de 350 mm para verificação de vazamento no trecho considerado.

E-1 Determinação da vazão no 1º ponto de medição (seção 1)

E-1.1 Fator de velocidade obtido segundo Figura E-1 do Anexo E:

$$FV = 0,742$$

E-1.2 Velocidade central obtida segundo a média das velocidades conforme Tabela E-1 do Anexo E:

$$V_c = 1,190 \text{ m/s}$$

E-1.3 Verificação da densidade real do líquido manométrico:

$$d_r = 1 + \frac{\sum_1^7 \frac{d}{b}}{7}$$

$$\frac{d_1}{b_1} = \frac{4,85}{20,5} = 0,237 ; \frac{d_2}{b_2} = \frac{5,4}{23,1} = 0,234 ; \frac{d_3}{b_3} = \frac{5,9}{25,2} = 0,234 ;$$

$$\frac{d_4}{b_4} = \frac{6,45}{27,4} = 0,235 ; \frac{d_5}{b_5} = \frac{6,8}{28,7} = 0,237 ; \frac{d_6}{b_6} = \frac{7,0}{29,9} = 0,234 ;$$

$$\frac{d_7}{b_7} = \frac{7,2}{30,6} = 0,235 \quad \sum_1^7 \frac{d}{b} = 1,646$$

$$d_r = 1 + \frac{1,646}{7} = 1,235$$

E-1.4 Correção da densidade do líquido manométrico:

$$C_d = \sqrt{\frac{d_r - 1,00}{d_n - 1,00}} = \sqrt{\frac{1,235 - 1,000}{1,250 - 1,000}} = \sqrt{\frac{0,235}{0,250}} = \sqrt{0,941}$$

$$C_d = 0,970$$

E-1.5 Área corrigida devido à obstrução do tubo Pitot colocado no centro da tubulação:

$$S_{\text{corrigido}} = 0,0947 \text{ m}^2$$

NOTA: Scorrigido obtido na Tabela B-1 do Anexo B.

E-1.6 Correção da projeção do registro de derivação: Em virtude do diâmetro nominal não há necessidade de um coeficiente de correção (Figura C-1 do Anexo C).

$$\text{Portanto } C_t = 1,000 \text{ (diâmetro } > 300 \text{ mm)}$$

E-1.7 Determinação do diâmetro real: O diâmetro real foi determinado, apresentando um valor igual a 349 mm.

E-1.8 Correção do diâmetro:

$$C_{\text{diâmetro}} = \left(\frac{d_r}{d_n}\right)^2 = \left(\frac{349}{350}\right)^2 = 0,994$$

$$C_{\text{diâmetro}} = 0,994$$

E-1.9 Cálculo da vazão na seção 1:

$$Q = FV \times VC \times C_d \times S_{\text{corrigido}} \times C_t \times C_{\text{diâmetro}}$$

$$Q = 0,742 \times 1,190 \times 0,970 \times 0,0947 \times 1,000 \times 0,994$$

$$Q = 0,0806 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 80,6 \text{ L/s}$$

E-2 Determinação da vazão no 2º ponto de medição (seção 2)

E-2.1 Fator de velocidade obtido segundo Figura E-2 do Anexo E:

$$FV = 0,790$$

E-2.2 Velocidade central obtida segundo a média das velocidades (Tabela E-2 do Anexo E).

$$V_c = 1,154 \text{ m/s}$$

E-2.3 Verificação da densidade real do líquido manométrico:

$$d_r = 1 + \frac{\sum_{i=1}^7 \frac{d}{b}}{7}$$

$$\frac{d_1}{b_1} = \frac{4,95}{21,0} = 0,236; \quad \frac{d_2}{b_2} = \frac{5,2}{22,1} = 0,235; \quad \frac{d_3}{b_3} = \frac{6,0}{25,5} = 0,234;$$

$$\frac{d_4}{b_4} = \frac{6,40}{27,0} = 0,236; \quad \frac{d_5}{b_5} = \frac{7,1}{30,1} = 0,235; \quad \frac{d_6}{b_6} = \frac{7,35}{31,0} = 0,237;$$

$$\frac{d_7}{b_7} = \frac{7,5}{31,9} = 0,235 \quad \sum_1^7 \frac{d}{b} = 1,648$$

$$d_r = 1 + \frac{1,648}{7} = 1,235$$

E-2.4 Correção da densidade do líquido manométrico:

$$C_d = \sqrt{\frac{d_r - 1,00}{d_n - 1,00}} = \sqrt{\frac{1,235 - 1,000}{1,250 - 1,000}} = \sqrt{\frac{0,235}{0,250}} = \sqrt{0,941}$$

$$C_d = 0,970$$

E-2.5 Área corrigida devido à obstrução do tubo Pitot colocado no centro da tubulação:

$$\text{Scorrigido} = 0,0947 \text{ m}^2$$

NOTA: Scorrigido obtido na Tabela B-1 do Anexo B.

E-2.6 Correção da projeção do registro de derivação: Em virtude do diâmetro nominal da tubulação não há necessidade de um coeficiente de correção (Figura C-1 do Anexo C).

Portanto $C_t = 1,000$ (diâmetro > 300 mm).

E-2.7 Determinação do diâmetro real: O diâmetro real foi determinado, apresentando um valor igual a 344 mm.

E-2.8 Correção do diâmetro:

$$C_{\text{diâmetro}} = \left(\frac{d_r}{d_n}\right)^2 = \left(\frac{344}{350}\right)^2 = 0,966$$

$$C_{\text{diâmetro}} = 0,966$$

E-2.9 Cálculo da vazão na seção 2:

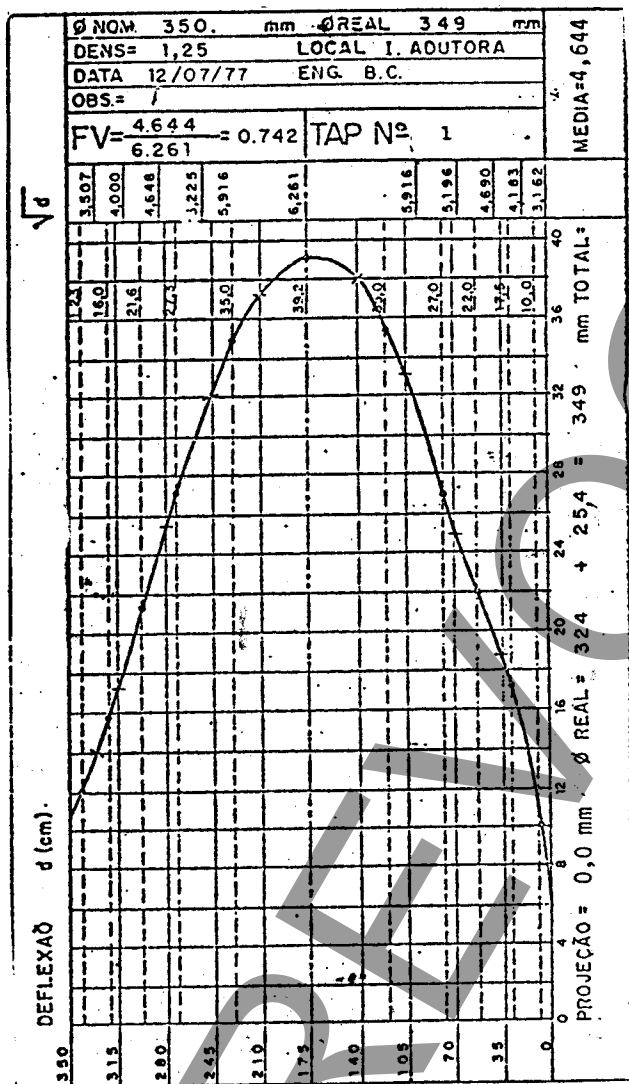
$$Q = FV \times VC \times C_d \times \text{Scorrigido} \times C_t \times C_{\text{diâmetro}}$$

$$Q = 0,790 \times 1,154 \times 0,970 \times 0,0947 \times 1,000 \times 0,966$$

$$Q = 0,0809 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 80,9 \text{ l/s}$$

TABELA E-1 - Velocidade centrais na seção I

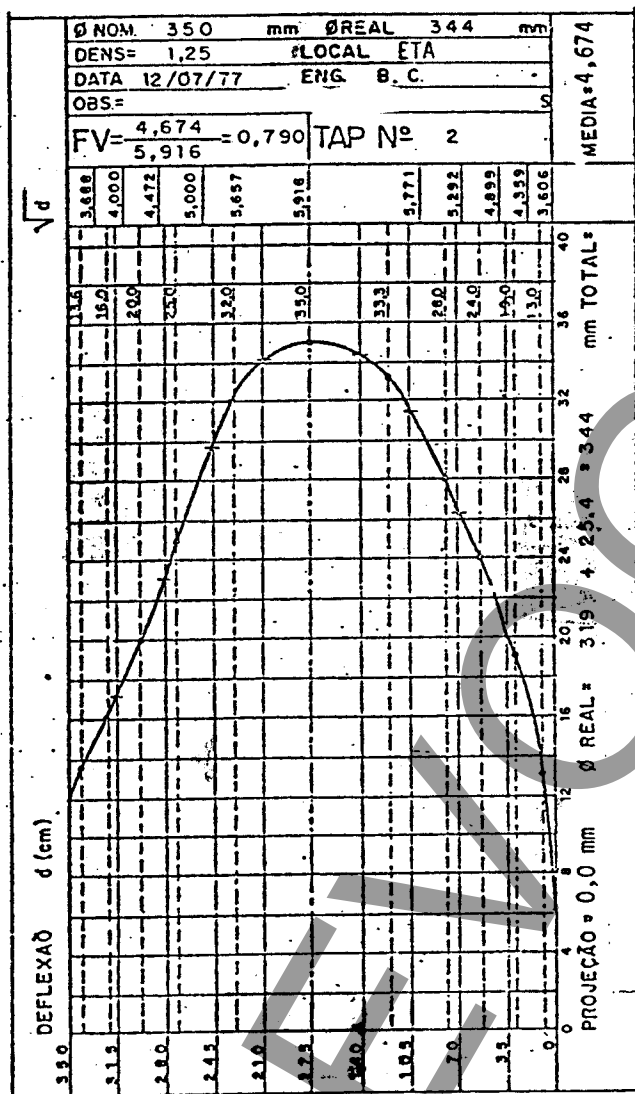


contato nº
cidade

TAP Nº	TESTE Nº	DATA	
1		12/7/77	
LOCAL Seção I.			
Ø NOM	150 mm	Ø REAL 349 mm	
PITOT Nº	1518	DENS. 1.250	
MANÔMETRO	- AI	- mm	
EXEC.	W.M.	CALC. B.C. VER. K.W.	
OBS:			
TEMPO	DEFL. (mm)	VELOC. (m/s)	PRES. ()
12:20	372	1,179	
	355	1,152	
12:21	360	1,160	
	360	1,160	
12:22	372	1,179	
	371	1,178	
12:23	372	1,179	
	382	1,195	
12:24	390	1,207	
	390	1,207	
12:25	386	1,201	
	385	1,199	
12:26	384	1,197	
	396	1,215	
12:27	386	1,201	
	393	1,211	
12:28	387	1,202	
	383	1,196	
12:29	386	1,201	
	378	1,188	
12:30	371	1,178	
TOTAL		24,985	
MÉDIA		1,190	

FIGURA E-1 - Perfil de velocidade na seção I

TABELA E-2 - Velocidade Centrais na seção 2.



CONTRATO Nº			
CIDADE			
TAP Nº 2	TESTE Nº	DATA 12/7/77	
LOCAL Seção II			
Ø NOM 350	mm	Ø REAL 344	mm
PITOT Nº 1517	DENS. 1,250		
MANÔMETRO -	AI -	mm	
EXEC. C.M.	CALC. B.C.	VER. K.W.	
OBS:			
TEMPO	DEFL. (mm)	VELOC. (m/s)	PRES. ()
12:20	351	1,146	
	353	1,149	
12:21	348	1,140	
	358	1,157	
12:22	352	1,147	
	348	1,140	
12:23	360	1,160	
	352	1,147	
12:24	351	1,146	
	365	1,168	
12:25	360	1,160	
	353	1,149	
12:26	351	1,146	
	359	1,159	
12:27	353	1,149	
	351	1,146	
12:28	364	1,166	
	362	1,163	
12:29	371	1,178	
	359	1,159	
12:30	362	1,163	
TOTAL		24,238	
MÉDIA		1,154	

FIGURA E-2 - Perfil de Velocidade na seção 2.