

**SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS****ABOUT THE USE OF A PROTOTYPE RESPONSIBLE FOR THE PHYSICAL CHARACTERIZATION OF THE CHANGE OF DIRECTION OF FLUIDS IN CLOSED CONDUITS**

Saniele Ferraz Pereira dos Santos<sup>1</sup>, Paschoal Perdão Junior<sup>2</sup>

**RESUMO**

Esse trabalho tem como objetivo estudar a mudança de direção em tubulações fechadas, levando-se em conta o escoamento de fluidos incompressíveis (água em particular). Foram estudadas as pressões incidentes, antes e depois de uma curva à 90°, mediante dispositivo mecânico montado com o auxílio de manômetros, posicionados antes e após o ponto geométrico de mudança de direção. Tal dispositivo foi concebido a partir de um protótipo já existente, através do qual foram implementadas modificações responsáveis por leituras mais precisas que, invariavelmente poderão contribuir para o dimensionamento de blocos de ancoragem.

**PALAVRAS CHAVES:** Mudança de direção. Escoamento. Conduto fechado. Fluido incompressível.

**ABSTRACT**

*This work aims to study the change of direction in closed pipes, taking into account the flow of incompressible fluids (water in particular). The incident pressures were studied before and after a curve at 90°, using a mechanical device mounted with the aid of gauges, positioned before and after the geometric point of change of direction. This device was designed from an existing prototype, through which modifications were implemented responsible for more accurate readings that can invariably contribute to the dimensioning of anchor blocks.*

**KEYWORDS:** Change of direction. Flow. Duct closed. Incompressible fluid.

---

<sup>1</sup> Engenheira Civil - Diretora Técnica/Administrativa do "Gauss-Riemann-Abel-Bessel Institut", Pesquisadora em Estruturas sob a forma de Cascas e em Concreto de Alta Resistência – UNIFACCAMP - e-mail: [sanferraz@outlook.com](mailto:sanferraz@outlook.com)

<sup>2</sup> Pós-Doutor em Engenharia Civil pela "Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP", Fundador do "Gauss-Riemann-Abel-Bessel Institut", Pesquisador em Estruturas sob a forma de Cascas e em Concreto de Alta Resistência – UNIFACCAMP - e-mail: [p.p.j.r@outlook.com](mailto:p.p.j.r@outlook.com)



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

### 1. INTRODUÇÃO

Esse trabalho visa o estudo do comportamento da água (um fluido incompressível) em condutos fechados, utilizando-se um protótipo mecânico para determinação específica da velocidade do fluido após o choque deste com o anteparo caracterizado por uma curva à 90°.

A importância do tema revela-se por atender o aumento da densidade demográfica em áreas urbanas e industriais, intensificando o desenvolvimento de polos de agricultura permanente, principalmente em regiões semiáridas.

Hoje com a preocupação do bem-estar e qualidade de vida, tem-se um aumento considerável no consumo frutífero com a demanda por vezes superior à oferta, temos também vastas áreas secas, próprias para o cultivo, que podem ser viabilizadas através da utilização de canalização e sistemas inteligentes de irrigação, capazes de implementar melhores condições às tubulações existentes, assim como de incidir diretamente nos parâmetros de projeto e construção de novas tubulações.

Desenvolve-se um pequeno laboratório de mecânica dos fluidos para determinação da pressão e velocidade da água numa tubulação fechada com mudança de direção à 90°, na horizontal.

### 2. REFERENCIAL TEÓRICO

As tubulações e seus acessórios, além de esforços internos, geram ou podem gerar

esforços externos que necessitam ser absorvidos e transferidos a outras estruturas.

#### 2.1. Ancoragens

Conforme AZEVEDO NETTO, *et al*, 2013, os pontos onde se produzem essas transferências de esforços são denominadas ancoragens e as formas de fazê-las são objeto de grande criatividade por parte dos engenheiros, além de contar com algumas peças de catálogo de fabricantes.

Os esforços externos que desequilibram um sistema fechado (como é de uma tubulação cilíndrica, onde esforços se anulam por simetria) são originados em curvas, reduções, válvulas fechadas ou parcialmente fechadas, derivações, enfim, numa infinidade de situações em que os vetores do produto pressão x área não se anulam em todas as direções e sentidos opostos. A resultante da soma desses vetores é a força a ser absorvida externamente. Tal força é chamada na prática por resultante, Esforços ou Empuxo, sendo mais adequado o termo resultante (Esforços é qualquer um, Empuxo já é usado para flutuação).

Deve-se registrar ainda que em tubulações de grandes diâmetros e pequenas pressões, a simplificação de considerar a pressão a mesma em toda a seção de um tubo deve ser analisada com cuidado, pois a parte de baixo tem pressão maior que a de cima. O mesmo ocorre quando as velocidades se elevam muito a simplificação de usar apenas a



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

pressão, desprezando a quantidade de movimento, pode trazer diferenças consideráveis, embora se calculem as ancoragens para as pressões de teste, ou seja, “pressão máxima + segurança”, o que costuma sobrepassar a energia total disponíveis mais eventuais golpes. Não se deve esquecer ainda o peso da água e do tubo.

Em tubulações contínuas, tais como de aço soldado, a importância dessas estruturas é muito menor, pois a própria estrutura do tubo, longitudinalmente costuma ser suficiente para absorver os esforços resultantes de uma curva ou mesmo de uma extremidade fechada ou válvula, transferindo-os para outra parte do sistema, que por ser fechado acaba por anular todas as forças ou transferi-las ao solo por atrito. Deve-se atentar para os casos em que se exigem testes de pressão antes do reaterro das valas quando esse atrito ainda não existe. Igualmente devem ser tomadas precauções para não construir trechos aéreos com intervalos de apoio e engate muito largos, facilitando a ocorrência de fenômenos de amplificação de ressonâncias oriundas de vibrações. Em casos de grande responsabilidade deve ser feita análise de vibrações. O problema das ancoragens é causa de inúmeros acidentes sérios e é mais frequente quando se trata de tubulações com juntas flexíveis ou juntas de poucas ou nenhuma condição de resistir nos momentos, como no caso da maioria dos flanges.

A resultante gerada pela pressão interna num tubo é, portanto, transferida a uma estrutura externa, encarregada de absorvê-la e transferi-la ao solo, normalmente denominado “bloco de ancoragem”.

### 2.2. Juntas de dilatação e / ou de expansão

Conforme AZEVEDO NETTO, *et al*, 2013, trechos grandes e retilíneos de tubulação podem apresentar esforços internos muito grandes, provenientes das variações térmicas a que o tubo esteja submetido e, portanto, da dilatação e contração. Normalmente, as variações térmicas extremas ocorrem durante a construção, quando o tubo está vazio, sujeito a sol e frio.

Esses esforços podem ser de compressão ou de tração, dependendo da condição em que o trecho é terminado entre dois pontos rígidos. No caso de tubos enterrados, pode ser que o atrito lateral com o solo absorva os esforços gerados, anulando-os.

As juntas comercialmente disponíveis dividem-se em dois tipos principais: sanfonada e deslizantes. As primeiras são pedaços de tubo, com parede especial, sanfonada, construída de forma a deformar –se absorvendo esforços. As segundas são baseadas em dois tubos de diâmetros de borracha ou similar.

Também é frequente ver-se o projeto de trechos aéreos de tubulações feito de tal forma que os “arcos elásticos” de seu traçado



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

sejam capazes de absorver por deformação, os esforços gerados, sem colapsar.

### 2.3 Juntas de construção

Segundo Azevedo Netto, et al, 2013, os tubos podem, teoricamente, ser fabricados continuamente, e assim ser instalados. Na pratica atual essa condição não ocorre (exceto para certas condições em que tubos de polietileno de alta densidade são extrudados no local da instalação). As limitações de ordem prática dizem respeito aos métodos de fabricação, de transporte e de instalação. As juntas mais comuns são:

- Para o aço—solda de topo ou flanges a cada 12 m;
- Para ferro fundido—elástica a cada 6 a 7m (ponta e bolsa com anel de borracha, travada ou não) ou franges;
- Para o PVC—junta elástica, junta soldada (química) ou junta roscada.

Junta elástica travada:

- É basicamente uma junta elástica, cujo travamento é acrescentando-se:
- Um cordão de solda, colocado na fábrica sobre a ponta do tubo (ou da conexão, no caso de uma extremidade ponta-flange).

Junta elástica travada:

- Um anel de trava partido, em ferro dúctil, de perfil externo esferoidal e de seção ligeiramente trapezoidal. Esse anel de trava apoia-se no cordão de solda.
- Um contraflange de bloqueio de ferro dúctil.
- Um conjunto de parafusos e porcas de ferro dúctil, engatados no arco da bolsa de tubo por meio de uma cabeça especial.

Vantagens:

- Dispensa a construção de blocos de ancoragem
- Facilita a execução da canalização.
- Descongestiona o subsolo dos grandes centros urbanos.

Utilização:

- Em terrenos de resistência insuficiente.
- No subsolo “atravancado” das grandes cidades.
- Em travessias de rios e canais.
- Em declives acentuados. (AZEVEDO NETTO, et al, 2013)

### 2.4 Golpe de Aríete

Segundo Germer, 1996, é importante considerar que em obras hidrelétricas é possível a ocorrência do fenômeno



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

denominado “golpe de aríete”. Segundo Júdez, G. Z., apud Germer, 1996: “As variações de carga nas turbinas provocam a ação dos regulares, que fecha ou abre o distribuidor, causando variações na vazão que circula pela tubulação forçada, e, por conseguinte, na velocidade da água. Isto origina sobre pressões e depressões que, como se sabe, tem influência sobre a tubulação, a qual deve resistir a estes esforços.”

O golpe de aríete surge, portanto, quando ocorre um fechamento brusco do distribuidor, motivado por uma rejeição de carga no sistema. Nesse instante o regulador fecha o distribuidor que permite a entrada de água na turbina, e a vazão se adapta à vazão necessária para equilibrar os trabalhos motor e resistente.

Desta forma, parte da energia cinética da massa de água se transforma em energia vibratória e ondulatória e em calor, que darão lugar a uma série de sobre pressões desde o distribuidor até a origem da embocadura do conduto forçado (câmara de carga ou chaminé de equilíbrio). Está sobre pressão eleva positivamente a linha piezométrica.

Ao terminar o fechamento do distribuidor, as sobre pressões (pressões positivas), oscilam até uma linha piezométrica negativa, aproximadamente simétrica à linha piezométrica positiva em relação à linha de energia estática, e se sucedem uma série de sobre pressão e depressões entre as posições

extremas que, em consequência do atrito, turbulências e inversões das direções das ondas, vão se amortizando.

No caso de abertura brusca do distribuidor, o fenômeno ocorre de maneira inversa, surgindo um golpe de aríete negativo (inicialmente surgindo depressões), com características analógicas às acima descritas

É necessário que no dimensionamento das tubulações, bem como dos B.A que sustentam estas tubulações, sejam considerados estes efeitos de sobre pressão e depressão a que estarão sujeitos.

O golpe de aríete é tão maior quanto mais curto for o tempo de fechamento do distribuidor. É aconselhável limitar a sobre pressão em 30 da pressão estática, e então calcular o tempo necessário para o fechamento do distribuidor.

### 2.5 Golpes de Aríete em linhas de Recalque

Conforme AZEVEDO NETTO, *et al*, 2013, o caso mais importante de golpe de aríete numa linha de recalque de bombas acionadas por motores elétricos é o que se verifica logo após uma interrupção de fornecimento de energia elétrica.

Nesse caso, devido à inércia das partes rotativas dos conjuntos elevatórios imediatamente após a falta de corrente, a velocidade das bombas começa a diminuir reduzindo-se rapidamente a vazão. A coluna líquida continua a subir pela canalização de



recalque, até o momento em que a inércia é vencida pela ação da gravidade. Durante esse período, verifica-se uma descompressão no interior da canalização.

Em seguida, ocorre a inversão no sentido de escoamento e a coluna líquida retorna para as bombas.

Não existindo válvulas de retenção, as bombas começariam, então, a funcionar como turbinas, girando em sentido contrário.

Com exceção dos casos em que a altura de elevação é pequena, com descarga livre, nas linhas de recalque são instaladas válvulas de retenção ou válvulas especiais, com o objetivo de evitar o retorno do líquido através das bombas.

A corrente líquida, ao retornar para a bomba, encontrando a válvula de retenção fechada, ocasiona o choque e a compressão do fluido, dando origem a uma onda de sobre pressão (golpe de aríete).

Se a válvula de retenção funcionar normalmente, fechando-se no momento preciso, o golpe de aríete não atingirá o valor correspondente a duas vezes a altura manométrica.

Se, ao contrário, a válvula de retenção não se fechar rapidamente, a coluna líquida retornará, passando através da bomba, e, com o tempo, ganhara velocidades mais altas, elevando-se consideravelmente o golpe de aríete, no momento em que a válvula funcionar

(podendo atingir a 300% da carga estática, dependendo do tempo de fechamento).

## 2.6 Velocidade de Escoamento em Fluidos

Segundo POTTER, WIGGERT et al, 2013, a velocidade do fluido é de grande interesse no escoamento de fluidos. Ao medir a velocidade podemos calcular a vazão e talvez até formar uma imagem do padrão das linhas de corrente, ao identificar regiões de escoamento separado, regiões de escoamento estagnado e outras características de escoamento. Há três categorias de medidas de velocidade: local (em um ponto), média espacial e medidas do campo de velocidade. A discussão nesta seção atém-se às duas primeiras; a terceira é coberta na seção.

As velocidades locais são, na verdade, medidas sobre uma pequena região de escoamento. A precisão requerida varia dependendo da aplicação desejada. Por exemplo, velocidades médias no tempo medidas em vários pontos em uma seção transversal do escoamento podem ser registradas de modo que a distribuição de velocidade pode ser integrada para fornecer a descarga, ou vazão. Por outro lado, pode ser necessário determinar o histórico dos componentes da velocidade turbulenta dependentes do tempo em um ponto específico em uma região do escoamento.

## 2.7 Medidas de Vazão



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

Segundo POTTER, WIGGERT et al, 2013, a medida de vazão – alternativamente chamada descarga ou escoamento volumétrico – é uma das medidas mais comuns feitas em escoamento de fluidos. Numerosos dispositivos têm sido inventados ou adaptados com o objetivo de medir escoamento e variam amplamente em sofisticação, tamanho e exatidão. Basicamente, instrumentos para medidas de vazão podem ser divididos entre aqueles que empregam meios de medida diretos ou “quantitativos” e aqueles que são indiretos, isto é, são chamados medidores de “taxa”. Medidores de quantidade pesam ou medem o volume de um fluido em incremento de tempo conhecido; exemplos são peso de líquidos em tanques, pistões recíprocos e, para gases, foles e tambor selado. Em geral, esses dispositivos diretos são relativamente grandes e possuem características de resposta em frequência pobres. Todavia, eles fornecem alta precisão e exatidão e, como resultado, são usadas mais frequentemente como padrões “primários” para a calibração dos dispositivos de medida indireta.

Medidores de taxa ou indiretos consistem em duas componentes: a parte primária, que está em contato com o fluido, e a parte secundária, que converte a reação da parte primária em uma quantidade mensurável. Elas podem ser classificadas conforme um princípio de operação característico: medida de área-velocidade, correlações de queda de pressão, arrastamento hidrodinâmico, e semelhantes. Medidores de taxa são de custo relevantemente baixo, tomam pouco espaço e,

portanto, são habitualmente encontrados em laboratórios industriais e de pesquisa.

### 2.8 Classificações de Escoamentos

Segundo POTTER, WIGGERT et al, 2013, as medidas de escoamento podem ser classificadas caso o escoamento seja permanente ou não-permanente. Se a magnitude de uma quantidade física permanece constante ao longo do tempo, referimo-nos a ela como um valor de estado estacionário. No entanto, se a quantidade varia com o tempo, a medida é de transiente ou não-estacionária. Medidas de transientes exigem um aparato de medida de mais alta especialização. A maioria dos instrumentos de medida requer um certo tempo para responder à quantidade física verificada. Em medidas de transientes, esse tempo de resposta deve ser muito menor que o tempo para que ocorra uma mudança significativa da quantidade física. Nas medidas em estado estacionário, a única preocupação é fazer a leitura depois, que o sistema de medição teve tempo de responder às condições de escoamento. Em muitas situações, por exemplo, no escoamento turbulento, é desejável obter uma medida média no tempo de uma certa quantidade, mesmo que as condições de escoamento local sejam não-estacionária; exemplos disso são a tensão de Reynolds e a intensidade de turbulência. Nessa situação, um mecanismo de média no tempo deve ser incluído na medida. Além disso, o instrumento deve ser pequeno o suficiente para medir a variação espacial do parâmetro medido, tal



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

como o comprimento de onda de uma perturbação de pressão. Geralmente a questão da resolução espacial e temporal deve ser resolvida pela seleção de instrumentos compatíveis com a escala do escoamento e com a escala de qualquer perturbação do escoamento; veja Goldstein (1996) para obter mais explicações.

### 2.9 Pressões em Fluidos

Segundo POTTER, WIGGERT et al, 2013, as pressões de fluidos são medidas de várias maneiras diferentes. O tipo de instrumento utilizado depende dos níveis de precisão e detalhamento requeridos para a particular aplicação. Virtualmente todas as medidas de pressão são baseadas no princípio do manômetro ou no conceito de deformação por pressão de um material sólido tal como cristal, membrana, tubo ou placa e, então, na conversão daquela deformação em um sinal elétrico ou em uma leitura mecânica. As medidas de pressão podem estar em modo estático ou dinâmico. Pressões dependentes do tempo resultam da instabilidade do escoamento e de perturbações de pressão; as perturbações de pressão são resultado de perturbações hidrodinâmicas ou acústicas. Frequentemente, medidas de pressão estática são baseadas em valores médios no tempo, já que a instabilidade está sempre presente quando o escoamento é turbulento.

#### 2.9.1 Calor Produzido

Embora seja frequentemente empregada a expressão perda de carga de energia, ao se

designar a perda de carga não se deve esquecer que, na realidade, jamais se verifica uma perda de energia. Com o escoamento dos fluidos, partes da energia disponível se dissipa sob a forma de calor. Nessas condições, teoricamente, há um ligeiro aquecimento do fluido e dos tubos.

No caso de líquidos, essa energia, sob a forma de calor, é completamente perdida. Tratando-se de fluidos aeriforme, uma parte do calor pode ser aproveitada. (AZEVEDO NETTO, *et al*, 2013).

#### 2.9.2 Perdas de Cargas em Escoamento de Fluidos

Segundo BRUNETTI, FRANCO 2008, se for examinado o comportamento do escoamento de fluidos em condutos, será possível distinguir dois tipos de perdas de carga (não esqueça o leitor que perda de carga é a energia perdida pela unidade de peso, do fluido quando este escoar).

O primeiro tipo é chamado 'perda de carga distribuída', que será indicada por  $hf$ .

Tal perda, como o próprio nome diz, é a que acontece ao longo de tubos retos, de seção constante, devido ao atrito das próprias partículas do fluido entre si. Note-se que nessa situação a perda só será considerável se houver trechos relativamente longos de condutos, pois o atrito acontecerá de forma distribuída ao longo deles.



O segundo tipo corresponde às chamadas 'perdas de cargas locais ou singulares', que serão indicadas por  $h_s$ . Elas acontecem em locais das instalações em que o fluido sofre perturbações bruscas no seu escoamento.

Essas perdas podem, diferentemente das anteriores, ser grandes em trechos relativamente curtos da instalação, como, por exemplo, em válvulas, mudanças de direção, alargamento bruscos, obstruções parciais etc.

Esses locais, nas instalações, costumam ser chamados de 'singularidades', provindo daí o nome 'perdas de cargas singulares'.

### 2.9.3 Perda de Carga Localizada

Segundo Roma, 2006, a perda localizada ocorre sempre que um acessório é inserido na tubulação, seja para promover a junção de dois tubos, para mudar a direção do escoamento ou, ainda, para controlar a vazão. Nos acessórios, alterações na organização das linhas de corrente provocam perdas adicionais na posição em que ele se encontra. Em razão desse caráter localizado da ocorrência da perda de carga ela é considerada concentrada pelo acessório. O cálculo da perda localizada depende de coeficientes experimentais, estabelecidos com o auxílio da análise dimensional e medidos a partir de uma amostra estatística retirada de uma partida de fabricação dos acessórios. A perda no acessório pode ser quantificada por dois critérios distintos, mas intimamente relacionados.

## 3 ESTUDO DE CASO

Desenvolveu-se um pequeno laboratório de mecânica dos fluidos com o objetivo de estudar a pressão e a velocidade da água entre dois pontos, caracterizada geometricamente por mudança de direção, em um conduto fechado.

As leituras foram mecânicas utilizando apenas dois manômetros posicionados na mesma cota horizontal, um antes do ponto de estudo a  $90^\circ$ , e outro logo após a curva. O objetivo da escolha desses dois pontos foi tornar conhecida a pressão que o fluido exerce antes e após a curva a  $90^\circ$ . Foi utilizada uma bomba monofásica, um reservatório com capacidade de 50 litros, 13 metros de canos de  $\frac{3}{4}$  de polegada, 7 cotovelos de  $90^\circ$ ; porém para o estudo da mudança de direção foi utilizado um tê que teve um de seus lados fechados para se obter um ângulo perfeito a  $90^\circ$ , objetivando-se uma melhor precisão nos resultados dos manômetros. Se fosse utilizado um cotovelo comum de  $90^\circ$ , os resultados poderiam ser deturpados em função desse apresentar junto à sua parte interna uma diminuição de seção.

### 3.1 Aparato Utilizado para o Experimento

#### Mecânico

Segue a sequência dos equipamentos utilizados:

- Bomba Periférica Monofásica Vonder  
Modelo: BPV 375

**SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS**  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

Altura máxima: 25 m.c.a  
Vazão máxima: 33.3 litros/minuto  
Potencia: 540 W

Na Figura 1 é mostrada a bomba periférica monofásica que foi utilizada no experimento para conduzir a água do reservatório para a tubulação.

**Figura 1-** Bomba Periférica Monofásica.



- Comprimento da tubulação: 13 metros;  
Número de conexões de 90°: 7 cotovelos;  
Diâmetro da tubulação e das conexões: ¾ polegadas;
- Manômetro com leituras em Kgf / cm<sup>2</sup>, ligados em dois pontos da tubulação,

sendo um antes da curva, e outro após a curva, para medir a diferença de pressão entre dois pontos;

Manômetros são instrumentos utilizados para medir e indicar a intensidade de pressão do ar comprimido, óleo, água, vapor e fluidos em geral, conforme Figura 2 e Figura 3.

**Figura 2 –** Manômetro com medidas em lbf/pol<sup>2</sup> e Kgf/cm<sup>2</sup>.

## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior



Figura 3- Manômetro com medidas em lbf/pol<sup>2</sup> e Kgf/cm<sup>2</sup>, antes da curva.



- Reservatório de água, com 50 litros de capacidade;

A Figura 4 apresenta o reservatório utilizado no experimento, e a Figura 5 o Tê utilizado.

**Figura 4 - Bomba e Reservatório de Água**



- Cronômetro, utilizado para se obter o tempo de coleta de volume;
  - Tê utilizado para obter um ângulo perfeito a 90°.

**Figura 5- Tê utilizado para um ângulo de 90°.**





## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

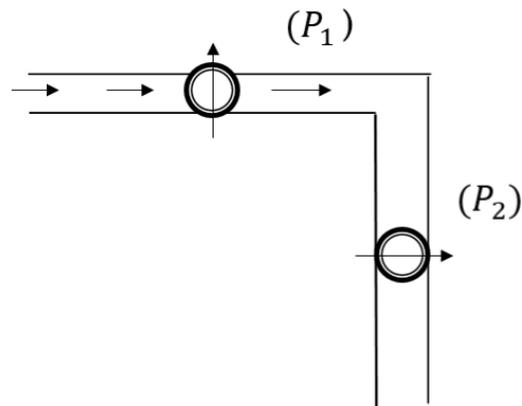
SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

### 3.2 Resultados Obtidos

seguinte esquema estático mostrado na Figura 6:

Para determinar a velocidade na curva horizontal a  $90^\circ$ , pode-se fazer uso do

**Figura 6- Representação do conduto a  $90^\circ$ .**



Fonte: Autores.

$$P_1 = 4,8 \frac{kgf}{cm^2} \rightarrow 4,8 \cdot 10^4 \frac{kgf}{m^2}$$


---

$$Q_1 = 29,96 \frac{l}{min} \{ Q = V \cdot A \rightarrow V = \frac{Q}{A}$$


---

$$Q_1 = 29,96 \frac{dm^3}{60s} = \frac{0,02996 m^3}{60 s} = 0,0005 \frac{m^3}{s}$$


---

$$\text{\textcircled{O}}_{tubulação} = \text{\textcircled{O}}_1 = \frac{3''}{4} = \frac{3}{4} \cdot 2,54 cm$$



$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot 2,54\right)^2 = 2,85 \text{ cm}^2 = 0,000285 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{Q_1}{A} = \frac{0,0005}{0,000285} = 1,75 \text{ m/s}$$

Pela aplicação da equação de Bernoulli entre os pontos (1) e (2) da tubulação; Tem-se:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2$$

Como a curva foi posicionada na horizontal,  $z_1 = z_2$ ; então:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{P_2}{\gamma}$$

$$V_2^2 = 2g \left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{P_2}{\gamma} \right)$$

$$V_2 = \left[ 2g \cdot \left( \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{P_2}{\gamma} \right) \right]^{1/2}$$

$$g = \frac{10 \text{ m}}{\text{s}^2}; \gamma_{H_2O} = 10^3 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

$$P_1 = 4,8 \cdot 10^4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$V_1 = 1,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_2 = 4,2 \cdot 10^4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$V_2 = \left[ 2 \cdot 10 \cdot \left( \frac{4,8 \cdot 10^4}{10^3} + \frac{1,75^2}{2 \cdot 10} - \frac{4,2 \cdot 10^4}{10^3} \right) \right]^{1/2}$$

$$V_2 = 11,09 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

Através dos ensaios realizados, observa-se que a velocidade da água dentro do conduto fechado, antes e depois da mudança de direção à 90° na horizontal, apresentou variações, ou seja, antes da mudança de direção a velocidade do fluido que era de 1,75 m/s passou, exatamente no ponto de mudança de direção, para 11,09 m/s.

Uma das causas que efetivamente contribuiu para que essa variação (potencialização) de velocidade se apresentasse reside no fato de que a água é um fluido incompressível; com base nessa premissa, o fluido, ao preencher toda a tubulação inclusive o dispositivo à 90° na horizontal, pode ser tratado como um corpo único, exata e fundamentalmente, pela água ser um fluido incompressível.

A incompressibilidade da água faz com que o fluido, ao chocar-se com o “anteparo” na mudança de direção à 90° na horizontal, tenha uma tendência ao retorno concomitantemente à uma possibilidade de vórtice. Essas tendências ao retorno e ao vórtice, ambas oriundas da incompressibilidade da água, provocam no dispositivo, responsável pela mudança de direção à 90° na horizontal, um “estado complexo” de tensão responsável pela potencialização do módulo da velocidade do fluido.

Esse “estado complexo” de tensão é bastante diferente do “estado complexo” de tensão que se forma com o choque do vento em edificações. O vento ao chocar-se, livremente (não estando em conduto fechado) com uma

edificação e sendo o ar compressível, faz com que sua velocidade zere e sua pressão seja máxima no choque. Essa velocidade zero e essa pressão máxima promove um espalhamento do fluido (do ar) no contorno da edificação (perimetralmente), de forma a formar as conhecidas regiões “barlavento” e “sotavento”, respectivamente na superfície de incidência e na superfície abrigada da incidência.

Definitivamente, o estudo da água (fluido incompressível) em um conduto fechado, num dispositivo responsável pela mudança de direção à 90° na horizontal, é bastante diferente do estudo do ar (fluido compressível) fluindo livremente e chocando-se com uma edificação, principalmente no que tange, ao quesito compressível e incompressível responsável pelo “estado complexo” de tensão que se forma em uma e em outra situação.

### REFERÊNCIAS

- GERMER, Alex de Araújo. **Blocos de Ancoragem**: metodologia de dimensionamento. Campinas, SP: AA Germer, 1996.
- MERLE C. Potter; WIGGERT, David C.; RAMADAN, Bassem H. **Mecânica dos Fluidos**. 3. ed. São Paulo: Cengage, 2013.
- BRUNETTI, Franco. **Mecânica dos Fluidos**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. Manual de hidráulica. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2013.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

SOBRE A UTILIZAÇÃO DE UM PROTÓTIPO RESPONSÁVEL PELA CARACTERIZAÇÃO  
FÍSICA DA MUDANÇA DE DIREÇÃO DE FLUIDOS EM CONDUTOS FECHADOS  
Saniele Ferraz Pereira dos Santos, Paschoal Perdão Junior

ROMA, Woodrow Nelson Lopes. **Fenômenos de transporte para engenharia**. 2. ed. São

Carlos: RiMa, 2006.