

**Faculdade de Tecnologia de Sorocaba – “José Crespo Gonzales”**

**Curso Superior em Fabricação Mecânica**

**TÍTULO: ANÁLISE DE POÇOS TERMOMÉTRICOS APLICADOS À MEDIÇÃO DE  
TEMPERATURA EM PROCESSOS INDUSTRIAIS**

Autor: Almeida; Emanuel<sup>1</sup>

Orientador: Camargo; Odir<sup>2</sup>

## **RESUMO**

Este trabalho irá abordar os principais métodos de medição de temperatura aplicados em processos industriais, em destaque para os termopares e termorresistência (RTD), assim seguimos com a apresentação dos poços termométricos que são utilizados para proteção e otimização desses dispositivos. É apresentado os princípios de funcionamento, características construtivas, os critérios para a seleção e os seus dimensionamentos que são relacionados a norma. Além disso, são discutidos fenômenos físicos, como a vibração induzida por vórtices, que tem uma influência direta na vida útil do poço termométrico.

**Palavras-chave:** Medição de temperatura; Termopar; Termorresistência; Poço termométrico; Instrumentação industrial.

## **1 Introdução**

### **1.1 Importância da medição e controle de temperatura nas indústrias**

Em indústrias temos diversos processos de usinagem, conformação ou até deslocamento de resíduos, gases ou fluidos. E nesses processos além de ter fatores que contribuem para o processo, como ferramentas, motores, elétrica, pneumática, hidráulica e entre outros componentes de uma máquina ou processo, é de extrema importância ter um controle de temperatura dos elementos ou do processo, como um controle de temperatura do motor, os motores têm um range de temperatura de operação, sendo prejudicial a sua vida útil trabalhar acima de sua temperatura máxima, ou também pode indicar que há algo errado no conjunto da máquina, pois o motor está sendo sobrecarregado, também temos o controle de temperatura em processos onde é feito o deslocamento de fluidos ou gases, também são elementos que precisam ter um limite de temperatura, por isso é necessário um controle e monitoramento da temperatura em certos pontos da tubulação. É importante ressaltar o controle de temperatura é realizado em

todos as indústrias, como de usinagem, alimentícia, farmacêutica e as demais. Em seguida temos as principais vantagens do controle de temperatura.

**Qualidade do produto:** A variação de temperatura pode trazer variação nas propriedades físicas e químicas do produto, se a temperatura não tiver o controle adequado, pode-se apresentar defeitos como: deformações, alterações de cores, alteração de sabor ou textura.

**Eficiência da produção:** Ter a temperatura não desejada no processo, pode levar a perda de produtividade, aumento de consumo de energia e desperdício de materiais. A temperatura do processo ser controlado de forma correta, ajuda a otimizar os processos industriais, reduzindo custos e aumentando a eficiência da produção.

**Atender normas:** Grande maioria das indústrias de pequeno a grande porte que fazem o controle de temperatura em seus processos é exigido seguir normas e regulamentações. E o cumprimento dessas normas é essencial para garantir a qualidade dos produtos.

## 1.2 Função dos poços termométricos

Os sensores de temperatura do tipo termopar são compostos por 2 cabos (montagem mais comum) e sua junta na ponta onde é fixado por solda prata, e as termorresistências (RTD) que é montado através de 3 cabos e na ponta um bulbo (montagem mais comum), com isso torna as montagens frágeis para alguns tipos de processos e o contato direto com fluido pode danificá-lo, é necessário um “corpo” para proteger os sensores para serem instalados. Para isso é necessário utilizar os poços termométricos, quem tem seus corpos usinados com a geometria adequada para cada tipo de processo.

## 1.3 Problemas causados por alta velocidade e formação de vórtices

Muitos processos em que é instalado os poços, tem fluídos ou gases passando por esses dutos, e ele passam com uma velocidade  $X$ , também tem instalações que velocidade do fluido é nula, mas em casos de velocidades altas é exercida uma força e vibração nos poços o que exigem resistência deles.

Quando o fluido entra em contato com a haste do poço gera os vórtices, são “redemoinhos” que se formam após a passagem do líquido pela haste, gera força lateral no poço e resulta na sua vibração. Esse fenômeno ocorre para pequenas e altas velocidades, porém em altas velocidades a vibração pode se intensificar, podendo resultar na fadiga do material e até a

falha dele, e essa falha deve ser evitada, pois um poço dentro de uma tubulação se quebrar, pode gerar um grande acidente. Por conta disso, a análise da condição dos dados de processo para dimensionar e selecionar o poço termométrico ideal para determinada linha é fundamental.

## 2 Objetivo

Iremos realizar a análise de poços termométricos em condições severas de processo, em especial quando os modelos de poços convencionais não suportam os dados de processo da linha.

Além disso, buscaremos compreender como são os sensores de temperatura são utilizados nas indústrias, e como os poços atuam na proteção desses sensores.

Teremos a explicação sobre o fenômeno de vibração induzida por vórtices, que ocorre por conta do escoamento do fluido ao redor do poço, podendo causar esforços além do limite no poço que resultará em uma falha com o passar do tempo.

Outro ponto é comparar os tipos de poços, quais suas condições de utilização e suas limitações, sendo eles: poço reto, rebaixado, cônico e helicoidal.

Por fim, vamos destacar o uso do poço helicoidal como uma alternativa mais eficiente em processos que exigem esse tipo de geometria por conta da alta vibração decorrente pelos vórtices.

## 3 Referencial teórico

### 3.1 Medição de temperatura na indústria

Dentro da indústria, a temperatura é um dos parâmetros mais importantes que se deve ter nos processos, com isso, podem ocorrer falhas na instrumentação, fazendo com que a leitura não seja realizada corretamente. Indústrias que trabalham com a fabricação de grandes lotes, quando ocorre um erro por falta de manutenção ou controle correto da temperatura, pode gerar grandes prejuízos e perdas significativas de produtos.

Segundo Wesley Reis, engenheiro e Coordenador Técnico Comercial da SIGMA SENSORS, o processo de pasteurização, referente a indústria de Bebidas e Alimentos, é utilizado um data logger, um dispositivo eletrônico autônomo responsável por medir e armazenar variáveis como temperatura, umidade, pressão ou corrente ao longo do tempo para

realizar a medição da temperatura do produto (líquido ou alimento) enquanto passa pela tubulação.

“Cervejas e refrigerantes são produzidos todos os dias cumprindo múltiplos parâmetros de processamento que resultam em produtos com identidades únicas, deste modo, existem fatores que são avaliados periodicamente, como o calor, resfriamento, dosagem e a distribuição uniforme da temperatura do túnel”, diz. (Reis, 2021)

Também é de extrema importância ressaltar que os sensores além de manter a qualidade do produto, traz a segurança, que se deve a Segurança Intrínseca (Ex i), onde o manuseio e instalações no processo de forma errada pode causar acidentes graves.

A Segurança Intrínseca (Ex i) é um tipo de proteção utilizada em atmosferas potencialmente explosivas, cujo objetivo é limitar a energia elétrica e térmica dos instrumentos a níveis insuficientes para provocar a ignição de gases ou poeiras. Esses instrumentos são aplicados em áreas classificadas, divididas em Zona 0, Zona 1 e Zona 2, sendo a Zona 0 a mais crítica. Nesse contexto, o controle de temperatura nessas áreas exige equipamentos devidamente projetados e testados para garantir a segurança operacional.

### 3.2 Tipos de sensores: termopar e termorresistência

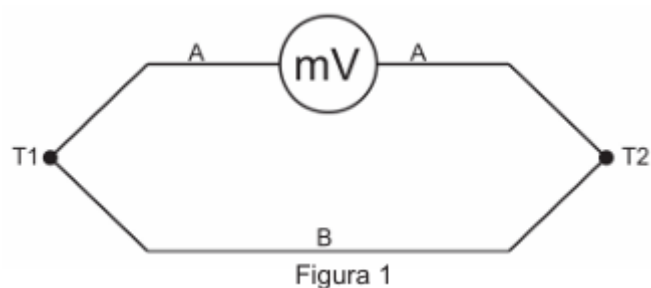
Os instrumentos utilizados dentro dos poços termométricos, são conhecidos e comumente chamados de “sensores de temperatura”, tem a função de transmitir a temperatura do ambiente em que é instalado. Os sensores são separados em duas categorias, sendo ela de Termopar e Termorresistência (RTD).

#### 3.2.1 Termopar

Termopar tem sua faixa de medição que varia de  $-200^{\circ}\text{C}$  até  $+1.700^{\circ}\text{C}$ , sendo eles dentro da indústria a montagem de sensores mais utilizados e que tem uma maior caga de polivalência atualmente.

A Performance de termopar que se origina do efeito Seebeck, que ocorre quando temos dois metais unidos (A e B) formando um circuito fechado com duas junções em temperaturas distintas ( $T_1$  e  $T_2$ ), com essas condições, é gerada uma força eletromotriz (f.e.m), medida em milivolts, proporcional à diferença de temperatura entre as junções.

Figura 1. Esquema de ligação do termopar



Fonte: Próprio autor

As principais características desse estudo são baseados na tensão que é gerada, é aumentada devido a diferença de temperatura, também deve ser considerado o tipo de metal utilizado e com isso podemos realizar uma medição indireta da temperatura. Os termopares possuem dois tipos de junções considerados como principais, são elas:

Junta quente: É utilizada para medir a temperatura;

Junta fria: É utilizada como base de comparação.

A tensão que resulta no circuito depende da diferença de temperatura entre essas duas junções.

No campo industrial, a medição de temperatura utilizando termopares é considerado tanto a temperatura da junção de medição quanto a da junção de referência, por conta disso, os instrumentos de medição geralmente possuem sistema de compensação de junta fria, isso permite que a leitura seja realizada diretamente em graus Celsius.

Para uma maior precisão dos termopares, são aplicadas a lei do circuito homogêneo, lei dos metais intermediários e a lei das temperaturas intermediárias, sendo suas definições: A Lei do circuito homogêneo, se define pela impossibilidade de gerar corrente elétrica em um único metal homogêneo apenas pela aplicação de calor, sendo

necessário a utilização de dois metais diferentes. Já a Lei dos metais intermediários, é sobre a inserção de um terceiro metal no circuito não gera alteração na medição, desde que suas junções estejam na mesma temperatura, ou seja, permite o uso de instrumentos de medição com diferentes materiais sem interferir no resultado. E a Lei das temperaturas intermediárias, refere-se a força eletromotriz total, sendo a soma das tensões geradas entre diferentes intervalos de temperatura, permitindo o uso de tabelas padronizadas.

Inúmeros tipos de termopares são utilizados na indústria, e são definidos de acordo com os materiais que compõem seus condutores, os principais tipo de termopares são os tipos T (cobre e constantan), J (ferro e constantan), K (chromel e alumel) e os tipos nobres R e S (platina). A definição do tipo de termopar a ser utilizado depende de fatores como a faixa de temperatura que o sensor irá trabalhar, resistência à corrosão e comportamento da relação entre tensão e temperatura.

### 3.2.2 Termorresistência (RTD)

As termorresistências, também conhecidos como RTDs (Resistance Temperature Detectors), vem aumento sua utilização na indústria devido à sua elevada precisão e simplicidade de operação. Os RTDs tem a capacidade de medir temperaturas que variam próximo de 0°C até aproximadamente 850°C.

O princípio de funcionamento das termorresistências se baseia na variação da resistência elétrica de um material em função da temperatura. Nesse tipo de instrumento, a resistência elétrica é medida e convertida em valores de temperatura por meio de uma calibração prévia. Os elementos sensores podem ser classificados em dois tipos: os bulbos de resistência metálicos, onde a resistência aumenta com a elevação da temperatura, e tem os termistores, constituídos por materiais semicondutores cuja resistência, em geral, diminui com o aumento da temperatura.

Os bulbos do RTD utilizam metais que apresentam características específicas, como elevado coeficiente de variação da resistividade com a temperatura, alta resistividade elétrica, estabilidade térmica e resistência à corrosão. Também é desejável que a relação entre resistência e temperatura seja aproximadamente linear, o que facilita a medição e leitura dos dados. Os materiais mais utilizados que se destacam é a

platina, o níquel e o cobre, dentre eles a platina é o mais empregado por conta da sua alta estabilidade e resistência a ambientes agressivos.

As vantagens de se utilizar um RTD é pela sua boa estabilidade ao longo do tempo, tem uma maior precisão em comparação aos termopares também a possibilidade de utilização de condutores de cobre nas ligações elétricas. Além de que, não necessitam de compensação de junta fria. Mas, uma de suas limitações está na influência da resistência dos fios de ligação, que pode gerar erros na medição da temperatura.

### 3.3 poços termométricos (reto, cônico, escalonado, helicoidal)

Os poços termométricos são dispositivos utilizados na proteção de sensores de temperatura (termopar e termorresistências) que tem a função de protegê-los de condições severas de operação, como a alta pressão, velocidade elevada e corrosão. Também contribuem para o aumento da vida útil dos sensores, possibilita a sua substituição sem a interrupção do processo e reduzem o risco de contaminação do fluido monitorado.

Na indústria, a aplicação dos poços é destinada a condições severas, grande parte deles são fabricados a partir de barras maciças usinadas, o que garante uma maior resistência mecânica e sua integridade estrutural. Por outro lado, modelos que são utilizados em aplicações de baixa pressão e velocidade podem ser construídos a partir de tubos tendo suas extremidades fixadas por solda.

A classificação dos poços pode ser conforme o formato da sua haste. O tipo reto apresenta um diâmetro constante pela haste, levando todo o comprimento de inserção, ele é indicado para aplicações com menor solicitação mecânica, oferece boa resistência à corrosão e à erosão. Já o tipo escalonado ou pode ser chamado de poço com rebaixo, possui uma redução de diâmetro próximo a sua extremidade, o que proporciona uma área de contato com o fluido menor e corresponde em uma resposta térmica mais rápida. Também temos o tipo cônico que apresenta uma redução gradual do diâmetro ao longo da haste, esse tipo oferece maior resistência mecânica e melhor desempenho em aplicações com maiores velocidades de escoamento, o tornando menos suscetível a falhas causadas por vibração. E por fim temos o helicoidal onde sua haste tem um formato de hélice sendo uma estrutura que gira em torno de um eixo fixo enquanto se

desloca ao longo desse mesmo eixo, eles são projetados para minimizar efeitos de vibração induzido pelo fluxo, é utilizado em aplicações críticas com velocidades mais elevadas.

Nos poços temos suas conexões ao processo que também é um fator muito relevante, entre as principais as que mais se destacam são as roscadas, soldadas, por solda em soquete, com vedação por O-ring e por flanges. As conexões roscadas são amplamente utilizadas devido à sua praticidade e resistência mecânica. Já as conexões soldadas são indicadas para aplicações em que se deseja evitar contaminações, como nas indústrias alimentícia e farmacêutica. As conexões com O-ring são utilizadas para garantir uma vedação eficiente em sistemas fechados, enquanto as flangeadas oferecem maior robustez e vedação em aplicações industriais de maior porte.

Para fazer a seleção do material do poço termométrico é importante para garantir sua durabilidade e desempenho. Deve ser analisado fatores como temperatura de operação, características químicas do fluido e presença de partículas que possam causar corrosão ou erosão. Entre os materiais mais utilizados destacam-se o aço carbono, aço inoxidável, ligas de cromo-molibdênio, além de ligas especiais como Inconel, Monel, Hastelloy e titânio. O aço inoxidável é amplamente utilizado devido à sua boa resistência à corrosão e ao custo relativamente baixo, por outro lado, as ligas especiais são utilizadas em ambientes mais agressivos.

O comprimento do poço também exerce influência direta na precisão da medição. Para garantir resultados confiáveis, é necessário que a parte do sensor esteja completamente imersa no fluido do processo. Para medições de líquidos, é recomendado que o sensor seja inserido além da região sensível, já para gases é necessário um comprimento adicional maior, devido à menor capacidade de transferência térmica desses meios.

Comumente, a correta seleção do poço termométrico deve considerar simultaneamente fatores mecânicos, térmicos e químicos, onde se garante a confiabilidade da medição, a integridade do sensor e de grande importância a segurança do processo industrial.

### 3.4 Materiais Utilizados em Poços Termométricos

A seleção do material de fabricação dos poços termométricos é um fator fundamental para garantir sua durabilidade, resistência mecânica e confiabilidade durante a operação. Essa escolha deve considerar as condições do processo, como temperatura, pressão, velocidade do fluido e características químicas do meio, uma vez que ambientes agressivos podem provocar corrosão, erosão ou degradação prematura do componente.

Entre os materiais mais utilizados destacam-se os aços carbono, aplicados em condições menos severas, e os aços inoxidáveis, amplamente empregados devido à sua boa resistência à corrosão e ao calor. Para aplicações que envolvem altas temperaturas ou fluidos altamente corrosivos, são utilizadas ligas especiais, como Inconel, Monel, Hastelloy e Titânio. Dessa forma, a correta seleção do material contribui diretamente para a segurança operacional, vida útil do equipamento e confiabilidade das medições de temperatura.

Figura 2. Tabela com materiais, suas aplicações e vantagens para poços termométricos

| MATERIAL           | APLICAÇÃO PRINCIPAL         | VANTAGENS                                |
|--------------------|-----------------------------|------------------------------------------|
| Aço Carbono        | Baixa pressão e temperatura | Baixo custo                              |
| Aço Inoxidável 304 | Aplicações gerais           | Boa resistência à corrosão               |
| Aço Inoxidável 316 | Química e alimentícia       | Maior resistência química                |
| Inconel            | Altas temperaturas          | Excelente resistência térmica            |
| Monel              | Ambientes marinhos          | Resistente à água salgada                |
| Hastelloy          | Meios altamente corrosivos  | Elevada resistência química              |
| Titânio            | Processos agressivos        | Alta resistência à corrosão e baixo peso |

Fonte: Próprio autor

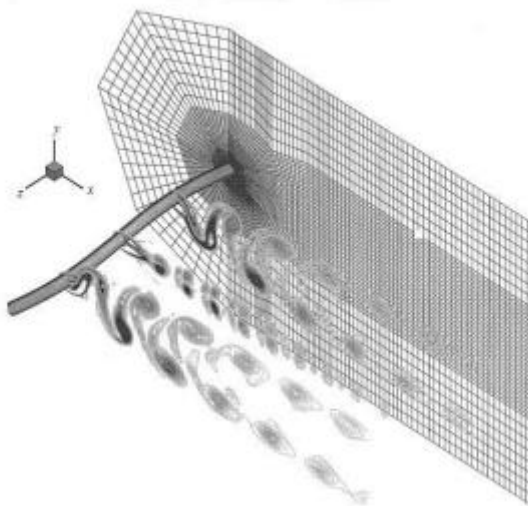
### 3.5 Fenômeno de formação de vórtices e falhas por vibração

Para a boa e segura funcionabilidade dos sensores junto com os poços, precisamos analisar e estudar a formação de vórtices e as falhas que podem ocorrer por conta da vibração. No meio industrial que trabalham com escoamento de fluidos, a formação de vórtices é um fenômeno relevante que pode ter impacto direto a integridade de componentes inseridos na linha de processo, sendo eles os sensores de temperatura e os poços termométricos. Esse evento ocorre quando o fluido escoar ao redor de um

corpo. Gerando forças que oscilam por conta do desprendimento alternado de vórtices, o que pode induzir vibrações estruturais.

Conforme Paulo Marçal Fernandes Filho (2012), a vibração induzida por vórtices (VIV – Vortex Induced Vibration) tem uma grande importância em materiais que são expostos ao escoamento, são capazes de provocar esforços alternados que podem causar à fadiga e uma ruptura prematura. Esse fato ocorre em elementos que são prolongados e trabalham inseridos no fluxo.

Figura 3. Ilustra como são os efeitos do vórtice entrando em contato com a haste



Fonte: Malha usada para cálculo de VIV. (Newman, 1997)

nessa circunstância, os poços que são utilizados em sistemas com elevada velocidade de escoamento devem ser considerados os efeitos VIV, pelo fato de altas vibrações podem interferir na precisão de medição e pode danificar a integridade mecânica do conjunto. Sendo assim, a escolha adequada do tipo de poço, como o seu modelo, sendo cônico, reto ou helicoidal, ajuda com a redução dos efeitos de vibração que é causada pelo fluxo do fluido entrando em contato com a haste do poço, o que aumenta a confiabilidade e a vida útil do sistema.

### 3.6 Normas técnicas de cálculo e dimensionamento

Para realizar o dimensionamento de poços de forma adequada que irá trazer segurança, a integridade mecânica do sistema de medição de temperatura, em especial

em tubulações que trabalham com escoamento de fluidos é utilizado normas técnicas que limitam critérios envolvendo o projeto, analisando esforços e limites operacionais.

Temos como principal referência internacional para dimensionamento e cálculo de poços termométricos a norma ASME PTC 19.3 TW-2016, que fornece diretrizes para avaliar vibrações induzidas pelo escoamento, frequências naturais e tensões mecânicas atuantes. Assim ela considera fatores como velocidade do fluido, propriedades do material, geometria do poço e condições de instalação.

Todo projeto deve garantir que a frequência natural do poço seja suficientemente distante da frequência de estresse gerada pelo escoamento, evitando condições de ressonância. Segundo a American Society of Mechanical Engineers, um dos principais riscos relacionados ao uso inadequado de poços é a ocorrência de vibração induzida por vórtices, o que pode levar à falha por fadiga.

Além disso, normas internacionais como as da International Organization for Standardization e da Associação Brasileira de Normas Técnicas complementam os critérios de seleção de materiais, processos de fabricação e requisitos de instalação, contribuindo para a padronização e segurança dos sistemas de medição.

Assim, utilizando as normas no dimensionamento de poços temos segurança e confiabilidade nas medições, também a durabilidade dos componentes nos processos industriais.

Quando se referimos aos poços termométricos helicoidais a norma ASME PTC 19.3 TW-2016 não contempla o dimensionamento de poços helicoidais, com isso, a aplicação desse tipo de poço se baseia em recomendações de fabricantes e análises complementares, como simulações e cálculos, a fim de garantir a confiabilidade e segurança operacional.

## 4 Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido com base em levantamento bibliográfico, por meio da análise de normas técnicas e artigos científicos relacionados à medição de temperatura e aos dimensionamentos de poços termométricos. Com isso, permite-se a

construção de uma base teórica, fundamentada em conhecimentos já consolidados na literatura especializada.

## 5 Desenvolvimento

### 5.1 Aplicação industrial dos poços termométricos

Os poços termométricos são comumente utilizados em processos industriais que exigem monitoramento ou controle contínuo da temperatura, a sua principal função é proteger o sensor de temperatura que fica alojado no interior do poço, eliminando o risco de pressão elevada, corrosão, abrasão e alta velocidade de escoamento do fluido.

A sua aplicação é habitual em indústrias químicas, petroquímicas, alimentícias, farmacêuticas e geração de energia, esse uso se deve pelo fato da praticidade de troca do sensor utilizando poços termométricos, sem ele, é necessário realizar uma pausa no processo para efetuar a troca, utilizando o poço, podemos realizar a substituição do elemento sensor sem a necessidade de parar a linha ou sistema, o que contribui para maior segurança e eficiência operacional.

Além de fornecer proteção mecânica, os poços também influenciam diretamente na qualidade da medição de temperatura, pois fatores como geometria, material e comprimento de inserção podem afetar o tempo de resposta e a confiabilidade do sistema de medição.

### 5.2 Influência da velocidade do fluido e da vibração nos poços termométricos

Em sistemas com escoamento de fluidos, os poços ficam submetidos à ação de esforços mecânicos provocados pelo contato contínuo com o fluxo. Esse fato ocorre quando o fluido contorna a haste do poço que resulta nos vórtices (fenômeno responsável pela geração de forças oscilatórias transversais sobre a estrutura).

Esse fenômeno é conhecido como vibração induzida por vórtices (Vortex Induced Vibration – VIV) e representa uma das principais causas de falhas em poços termométricos instalados em linhas de alta velocidade. Segundo Fernandes Filho (2012),

a vibração induzida por vórtice pode provocar esforços alternados capazes de gerar fadiga mecânica e ruptura prematura de componentes submetidos ao escoamento.

Quando a frequência dos vórtices se aproxima da frequência natural do poço termométrico, ocorre o fenômeno chamado ressonância, gerando um aumento significativo das vibrações. Nessas condições, o componente passa a operar sob elevados níveis de tensões mecânicas, reduzindo sua vida útil e aumentando o risco de falha.

Além dos danos mecânicos, a vibração excessiva também pode comprometer a estabilidade da medição de temperatura, ocasionando oscilações no sinal transmitido pelo sensor e reduzindo a confiabilidade do processo industrial.

### 5.3 Comparação entre os modelos de poços termométricos

Os poços termométricos podem ser fabricados em diferentes geometrias, como o modelo reto, rebaixado, cônico e helicoidal são esses os mais utilizados nas indústrias. Cada modelo tem sua especialidade que relaciona à resistência mecânica, comportamento térmico e a capacidade de suportar vibrações.

Figura 4. Ilustra as diferentes geometrias de haste dos poços.



Fonte: Próprio autor

O poço reto possui o diâmetro constante em toda a haste, apresenta fabricação simples e com menor custo. Porém, devido à sua geometria uniforme, esse modelo apresenta maior vulnerabilidade à vibração induzida por vórtices, principalmente em aplicações onde a velocidade do fluido é elevada. Uma vantagem do poço reto está relacionada à sua resistência estrutural em aplicações menos críticas, permitindo boa proteção mecânica ao sensor de temperatura contra impactos, pressão e contato direto com o fluido do processo.

Os modelos rebaixados apresentam uma redução de diâmetro próxima à extremidade da haste, reduzindo a massa da região sensível e proporciona menor tempo de resposta térmica, devido a essa geometria o calor é transferido de forma mais rápida ao sensor. A redução da área exposta ao escoamento diminui parcialmente os esforços provocados pelo fluido, levando uma pequena vantagem em resistência a vibrações comparado ao poço reto.

Já os poços cônicos possuem a redução gradual do diâmetro ao longo do comprimento de inserção, oferecendo melhor distribuição das tensões mecânicas ao longo da haste. Essa peculiaridade proporciona maior resistência estrutural em aplicações submetidas a elevadas velocidades de escoamento e altas pressões. Outra vantagem é a menor resistência ao fluxo do fluido, reduzindo a intensidade do desprendimento de vórtices. O modelo cônico apresenta melhor comportamento

dinâmico quando comparado ao reto, aumentando sua vida útil e confiabilidade operacional.

Por fim, temos os poços helicoidais que apresentam sua geometria diferenciada, contendo um perfil em formato helicoidal ao longo da haste. Esse formato helicoidal altera o comportamento do escoamento do fluido ao redor do poço, diminuindo os esforços oscilatórios e aumentando a estabilidade mecânica do conjunto. Sua principal vantagem está na capacidade de operar em aplicações com altas velocidade de escoamento e condições severas de processo, apresentando maior resistência à fadiga mecânica e maior vida útil comparado aos demais convencionais.

## 5.4 Limitações dos modelos convencionais

Apesar de serem muito utilizados no meio industrial, os poços apresentam algumas limitações quando são submetidos a condições severas de operação. Em aplicações com altas velocidades de escoamento, os modelos retos e, em alguns casos, os rebaixados, podem apresentar elevados níveis de vibração, podendo gerar falhas por fadiga mecânica.

Outro fator relevante está relacionado ao aumento das exigências operacionais dos processos industriais modernos. Sistemas que trabalham com maiores pressões, temperaturas elevadas e fluidos de alta densidade exigem componentes com maior resistência estrutural e melhor comportamento dinâmico. Portanto, em determinados casos, os modelos convencionais podem não atender aos limites estabelecidos pelas normas de dimensionamento, especialmente em relação à frequência natural e aos níveis admissíveis de tensão mecânica. Nessas situações, torna-se necessário a utilização de soluções alternativas capazes de reduzir os efeitos causados pelo escoamento do fluido.

Para as alternativas em aplicações severas, podemos utilizar os poços com a geometria diferenciada, sendo os poços cônicos e helicoidais, que apresentam melhor comportamento mecânico em relação às vibrações induzidas pelo escoamento. Além de tudo, outras soluções podem ser adotadas, como a redução do comprimento de inserção do poço, aumento do diâmetro da haste, utilização de materiais com maior resistência mecânica e alteração da posição de instalação na tubulação. Em aplicações

críticas, também podem ser realizados estudos complementares por meio de simulações computacionais e análises dinâmicas, permitindo selecionar a configuração mais adequada para garantir segurança e confiabilidade operacional.

## 5.5 Normas técnicas aplicadas ao dimensionamento

O dimensionamento de poços termométricos é uma etapa fundamental para garantir a segurança operacional, a integridade mecânica e a confiabilidade das medições de temperatura em processos industriais. Em aplicações com escoamento de fluidos, os poços ficam submetidos a esforços mecânicos de forma contínua provocado pela velocidade, pressão da linha e vibrações que também são induzidas pelo escoamento. À vista disso, a utilização de normas técnicas torna-se indispensável para assegurar que o componente opere dentro de condições seguras.

A principal norma utilizada internacionalmente para análise e dimensionamento de poços termométricos é a ASME PTC 19.3 TW-2016, foi desenvolvida pela American Society of Mechanical Engineers. Essa norma estabelece critérios para avaliação estrutural dos poços termométricos submetidos ao escoamento de fluidos, considerando fatores como frequência natural, vibração induzida por vórtices, tensões mecânicas admissíveis e possibilidade de ressonância.

O principal objetivo da ASME PTC 19.3 TW-2016 é evitar falhas causadas por fadiga mecânica decorrentes da vibração induzida pelo fluxo. A norma considera que, quando a frequência de desprendimento dos vórtices aproxima-se da frequência natural do poço termométrico, ocorre o fenômeno de ressonância, aumentando significativamente a amplitude das vibrações e os esforços aplicados à haste. Nessas condições, podem ocorrer trincas, deformações permanentes e até ruptura completa do componente.

Durante o processo de dimensionamento são analisados diversos parâmetros operacionais e construtivos, entre eles temos velocidade e densidade do fluido; viscosidade do meio; temperatura e pressão de operação; comprimento de inserção; diâmetro e geometria da haste; propriedades mecânicas do material e tipo de conexão utilizada no processo. Além das condições de escoamento, a norma também avalia a frequência natural do poço termométrico, garantindo que ela permaneça afastada da

frequência de agitação gerada pelos vórtices. Essa análise é essencial em aplicações de alta severidade, como linhas de vapor, gás natural e processos petroquímicos.

Mais um ponto importante abordado pela norma refere-se aos limites de tensão mecânica admissível do material utilizado na fabricação do poço. Materiais como aço inoxidável, ligas de cromo-molibdênio, Inconel e Hastelloy apresentam diferentes características mecânicas e resistências à corrosão, influenciando diretamente no desempenho estrutural do componente.

Além da ASME PTC 19.3 TW-2016, outras normas complementares podem ser utilizadas durante o projeto e especificação dos poços. As normas da International Organization for Standardization contribuem para padronização dimensional e critérios de fabricação, enquanto normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas auxiliam nos requisitos relacionados à instalação, materiais e segurança industrial.

Em aplicações críticas, o dimensionamento normativo pode ser complementado por simulações computacionais e análises dinâmicas, principalmente em geometrias especiais, como poços helicoidais. Isso ocorre porque a norma ASME PTC 19.3 TW-2016 não apresenta critérios específicos para esse tipo de geometria, fazendo com que fabricantes realizem validações próprios por meio de ensaios experimentais e métodos computacionais.

Sendo assim, a aplicação correta das normas técnicas no dimensionamento de poços termométricos é indispensável para garantir segurança operacional, aumento da vida útil dos componentes e confiabilidade das medições em processos industriais.

## 6 Conclusão

A medição de temperatura possui grande importância nos processos industriais, que relaciona diretamente à qualidade do produto, segurança estrutural junto com a operacional e contribui para eficiência dos sistemas produtivos. Nessa situação, os sensores, como o termopar e termorresistência, efetuam um papel fundamental no monitoramento e controle das variáveis de processo.

Mas, em aplicações industriais severas, os sensores necessitam de proteção adequada para suportar condições como altas pressões, temperaturas elevadas, corrosão e escoamento de fluidos em alta velocidade. Dessa forma, os poços termométricos tornam-se componentes indispensáveis para garantir a integridade dos sensores.

Ao longo deste trabalho, é possível compreender as características construtivas dos principais tipos de poços termométricos, assim como suas aplicações, vantagens e limitações. Nota-se que os modelos retos apresentam simplicidade construtiva e menor custo, porém possuem maior vulnerabilidade às vibrações induzidas por vórtices em aplicações severas. Já os modelos rebaixados e cônicos apresentam melhor desempenho mecânico e resposta térmica mais eficiente.

Se destaca também a aplicação dos poços helicoidais, desenvolvidos para reduzir os efeitos da vibração induzida pelo escoamento do fluido. Sua geometria diferenciada proporciona maior estabilidade mecânica, aumento da vida útil e maior segurança operacional em processos com elevada velocidade de escoamento.

Além disso, temos a importância das normas técnicas no dimensionamento dos poços, principalmente da norma ASME PTC 19.3 TW-2016, utilizada para análise de vibração, frequência natural e resistência mecânica dos componentes. A utilização correta desses critérios contribui diretamente para a prevenção de falhas estruturais e para a confiabilidade dos sistemas industriais.

No final, conclui-se que a seleção e o dimensionamento adequados dos poços termométricos são fatores essenciais para garantir medições seguras e precisas em processos industriais. Dessa forma, o estudo realizado contribui para ampliar o entendimento sobre a importância desses componentes e sobre os critérios técnicos envolvidos em sua aplicação.

## Referencial Bibliográfico

IMPORTÂNCIA do controle de temperatura nas produções industriais. Somaflux, [s.d.]. Disponível em: <https://www.somaflux.com.br/noticia/15/entenda-a-importancia-do-controle-de-temperatura-nas-producoes-industriais>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Sense Eletrônica Ltda.. Apostila de medição de temperatura. Disponível em: <https://www.sense.com.br>. Acesso em: 06 abr. 2026.

PORQUE o controle de temperatura na indústria é uma prioridade. A Voz da Indústria, [s.d.]. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/artigos/porque-o-controle-de-temperatura-na-industria-uma-prioridade/>. Acesso em: 29 mar. 2026.

Omega Engineering. Características e critérios de seleção de poços termométricos. Disponível em: <https://br.omega.com/artigos-tecnicos/caracteristicas-e-criterios-de-selecao-de-pocos-termometricos.html>. Acesso em: 06 abr. 2026.

Paulo Marçal Fernandes Filho. Análise da vibração induzida por vórtices em tubos flexíveis utilizando modelo fenomenológico. 2012. Trabalho de graduação – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

American Society of Mechanical Engineers. PTC 19.3 TW-2016: Thermowell Performance Test Code. New York, 2016.