

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA

**Lucas Devetak Casado¹, Andréa Teresa Riccio Barbosa¹, Frederico Silva Moreira¹,
Hana Karina Salles Rubinsztein¹**

¹Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande / MS, Brasil
(lucasdevetak@hotmail.com)

Resumo: O controle da temperatura é algo intrínseco no dia-a-dia, presente desde o controle natural do corpo humano até sistemas de controle modernos em máquinas e dispositivos. E este controle depende, principalmente, de um sensor que transmita a temperatura com precisão, confiabilidade e velocidade adequada. Portanto, é importante conhecer todas as técnicas, metodologias, tipos de sensores e procedimentos, para se realizar uma medição de forma confiável e precisa

Palavras-chave: Medição; Planejamento; Sensor; Temperatura

INTRODUÇÃO

A temperatura, uma das sete grandezas básicas do Sistema Internacional (SI), é a grandeza física que determina o grau de agitação das moléculas. Em todo corpo, ou todo material, existem moléculas vibrando, e a mensuração dessa vibração, ou agitação, determina a temperatura deste corpo. Existe um único cenário onde uma molécula não apresenta vibração, o zero absoluto, $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou 0 Kelvin.

Em praticamente tudo no mundo, o controle de temperatura é fundamental: temperatura das águas marinhas, temperatura da comida, temperatura do ambiente, temperatura dos equipamentos eletrônicos (Fialho, 2010).

O controle da temperatura é um fenômeno presente em cada instante da vida. O corpo humano está constantemente regulando a temperatura corporal a fim de manter uma condição ideal para o indivíduo. Além deste controle automático, as pessoas estão constantemente buscando métodos de melhorar o conforto térmico, com aparelhos de ar condicionado, roupas próprias para climas frios, ventilações, dentre outros métodos (Fialho, 2010).

Portanto, a fim de otimizar os meios de controle de temperatura, é necessário utilizar métodos de medição eficientes e confiáveis. Atualmente, existem no mercado aparelhos de medição de temperatura que funcionam de diferentes maneiras entre si, sendo cada um destes indicados para uma determinada situação.

A medição da temperatura pode ser feita de forma direta ou indireta. Na medição indireta, o resultado é obtido através de medições diretas de outras grandezas, ligadas por uma dependência conhecida

com a grandeza procurada. Este tipo de medição também será explorada neste trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

Os fundamentos teóricos desse trabalho têm como base revisões bibliográficas, de fontes como: livros, artigos, manuais de fabricantes, normas técnicas, projetos de graduação, dissertação de mestrado e teses de doutorado.

Será importante identificar, na literatura, as informações necessárias para se fazer a escolha dos equipamentos adequados, fazer o planejamento e definir os procedimentos de medição da temperatura, observando os cuidados com a aquisição dos dados e a minimização das interferências nas medições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sensores de temperatura

Termômetro de expansão de líquidos em bulbos de vidro

Este tipo de termômetro (Figura 1) funciona com o princípio mecânico, utilizando-se da dilatação térmica do líquido confinado, sendo os mais comuns mercúrio e álcool, mas também sendo utilizado com o Éter e o Pentano. Com o aumento da temperatura, o líquido dilata preenchendo o bulbo de vidro e, assim, marcando a temperatura atual, de acordo com as marcações específicas do bulbo. Apesar de, aparentemente, serem de fácil utilização, se não utilizados de forma correta, as precisões ficam da ordem de 1°C ou mais. Seguindo as referências do NBS (*National Bureau of Standards*) dos EUA, consegue-se alcançar medidas com até $\pm 0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ de precisão (Balbinot e Brusamarello, 2019).



Figura 1. Termômetros de bulbo.

Fonte: Omega (2023).

Termômetros bimetalícos

Este tipo de sensor, como o nome sugere, utiliza dois metais diferentes ligados entre si, ambos em formato de tira. Conforme a temperatura varia, a dilatação será diferente entre as duas tiras. Assim, enquanto uma extremidade permanece estática, a outra faz um movimento circulatório de modo igual à oscilação da temperatura, constatando os números térmicos de modo preciso.

O termômetro bimetalíco industrial (Figura 2) pode ser ajustado de acordo com as necessidades do projeto do cliente, no momento da produção do medidor. Dessa forma, o equipamento possibilita a personalização de acordo com as demandas particulares. Pode ser aplicado em fornos e caldeiras industriais, sistemas de calor, aquecedores à base de luz solar e espaços com transferências de temperatura, ou para aferições térmicas em operações com água, óleo, ar e outras substâncias, em processos nas indústrias químicas e petroquímicas, de óleo e gás, energia, abastecimento de água e saneamento básico. É ideal para ambientes severos e agressivos. Faixa de aplicação de -70 a $+600$ °C (Wika, 2023).



Figura 2. Termômetros bimetalíco industrial.

Fonte: Wika (2023).

Termômetros manométricos

Este tipo de termômetro funciona através da variação de pressão proporcionada por um gás ou vapor. Os termômetros manométricos que utilizam mercúrio apresentam uma faixa de operação de 38 a cerca de

590°C, já os que utilizam gás apresentam uma faixa de até -240 a mais de 600 °C (Balbinot e Brusamarello, 2019).

Os termômetros manômetros (Figura 3) são extremamente versáteis, com aplicação nas indústrias química, petroquímica, alimentícia, entre outras. Eles conseguem medir fluídos como água, gás, vapor, óleo, entre outros, fornecendo valores de temperatura e também de pressão. Possuem uma ótima precisão e podem operar em grandes pressões e elevadas temperaturas.



Figura 3. Termômetros manômetro.

Fonte: Termotrorc (2023).

Termômetro de resistência elétrica

Os termômetros de resistência elétrica (Figura 4), geralmente denominados RTDs (Resistance Temperature Detectors), funcionam através do princípio de que os metais perdem a capacidade condutiva conforme sofrem aumento de temperatura. Os termômetros de resistência elétrica mais comuns já apresentam uma precisão na ordem de décimos de °C, ao passo que os termômetros de resistência elétrica de platina podem diminuir esse erro em até mil vezes (Balbinot e Brusamarello, 2019).

Estes sensores são constituídos basicamente por um filamento, de um metal com alto grau de pureza, e um circuito eletrônico que mede a resistência elétrica deste filamento. A platina é o material mais indicado para este tipo de termômetro, uma vez que, mesmo em altas temperaturas, mantém suas características físicas, ou seja, a resistência mantém um comportamento linear com a temperatura (Fialho, 2010).



Figura 4. Termômetros de resistência elétrica.

Fonte: Rigitech (2023).

Existem dois métodos comumente utilizados para a calibração dos RTDs: método do ponto fixo e método de comparação. O primeiro é utilizado para calibrações de alta precisão ($0,0001\text{ }^{\circ}\text{C}$) e consiste na utilização de temperaturas de fusão ou solidificação de substâncias como água, zinco e argônio, para gerar os pontos fixos e repetitivos de temperatura. O Segundo utiliza um banho isotérmico estabilizado e aquecido eletricamente. Seja qual for o método, a calibração deve seguir os rigores das normas. Nas medições onde a incerteza pode ser maior ou igual a $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, é possível utilizar técnicas mais simples de interpolação.

Quando são fabricados com materiais semicondutores cerâmicos, que também têm sua resistência alterada com o efeito direto da temperatura, estes sensores são chamados de termistores (*thermally sensitive resistor*). Este tipo de sensor possui um coeficiente de variação maior que os RTDs, com uma faixa de operação típica de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Termopares

O termopar (Figura 5) funciona através do fenômeno observado quando uma barra de um condutor é aquecida em uma das extremidades. Quando isso acontece, os elétrons livres do material se movimentam para a parte mais fria, carregando positivamente a parte esquentada.

Quando este fenômeno ocorre, a diferença de potencial entre as duas extremidades pode ser diretamente relacionada à variação de temperatura. Estes termômetros são mais empregados na indústria de refrigeração, indústria química e pesquisas agrônomicas e ambientais.

Os termopares se diferenciam pelo metal ou liga que são constituídos. Os principais termopares comerciais são: tipo J (ferro-constantã), tipo K (cromel-alumel), tipo T (cobre-constantã), tipo E (cromel-constantã), tipo N (nicrosil (Ni-Cr-Si)-nasil (Ni-Si-Mg)), de metais nobres (B (Pt (6%)-ródio-Pt(30%)-ródio), R (Pt(13%)-ródio-Pt) e S (Pt(10%)-ródio-Pt)) e tipo C e N (filmes finos para medição de temperatura superficial). A faixa de medição pode variar de $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ à $2300\text{ }^{\circ}\text{C}$, com incerteza de 1 à $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Balbinot e Brusamarello, 2019).

Elevadas temperatura de trabalho, medições cíclicas e variações rápidas na temperatura, afetam a metalurgia dos condutores do termopar, resultando em desvios na medição. O meio onde serão instalados os termopares também influenciará nas medições, pois estão sujeitos à oxidação, e dependendo do comprimento do cabo que liga o sensor, será necessário a instalação de um condicionador de sinais para amplificar o sinal medido.

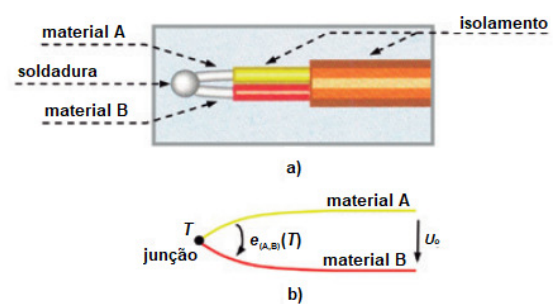


Figura 5. Termopar industrial com junção soldada (a) e representação esquemática (b).

Fonte: Dionísio (2019).

Termômetro de radiação

O termômetro de radiação funciona através do próprio princípio da temperatura, ou seja, através da agitação das moléculas. A vibração dos átomos de um corpo gera uma radiação eletromagnética que pode ser caracterizada de acordo com o comprimento de onda emitido (Balbinot e Brusamarello, 2019).

Os sensores de radiação são muito aplicados na indústria, com o objetivo de encontrar pontos quentes em cabeamentos, painéis, máquinas elétricas, dentre outras aplicações. Pela praticidade, este tipo de termômetro também é utilizado para medir a temperatura corporal.

Os termômetros de radiação ou pirômetros (Figura 6) identificam a irradiação térmica da superfície de um objeto e informam a temperatura correspondente. É de extrema importância obedecer às distâncias especificadas pelo fabricante para que se tenha uma medição correta. Cuidados adicionais podem ser necessários para a realização da medição, como ajustes de foco da lente, dos valores de absorção e emissividade do material medido (varia de 0 a 1, onde o corpo negro tem valor 1), da temperatura ambiente, da umidade relativa do ar, e da altitude, pois estas variáveis interferem diretamente no valor medido.

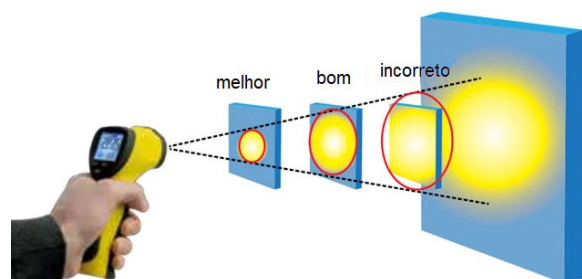


Figura 6. Termômetros de radiação.

Existem vários tipos de sensores que podem fazer a captação da radiação, dentre os quais: detectores quânticos ou de fótons, detectores térmicos, termopilhas e detectores piroelétricos.

Os medidores de radiação podem ser unidimensionais ou bidimensionais. Os do tipo unidimensional, também conhecidos como escâneres de linha (Figura 7) ou termógrafos de linha, são bastante aplicados no monitoramento de temperaturas em processos de produção de fibras, carpetes, papel, laminados, vidros, entre outros. Já os termógrafos bidimensionais, ou câmeras termográficas (Figura 8) têm vasta utilização em áreas como manutenção, prevenção (com destaque para o monitoramento de linhas de transmissão de energia e subestações), engenharia biomédica, entre outras.



Figura 7. Scanner de temperatura de precisão 1586A-Super-DAQ

Fonte: Fluke (2023).

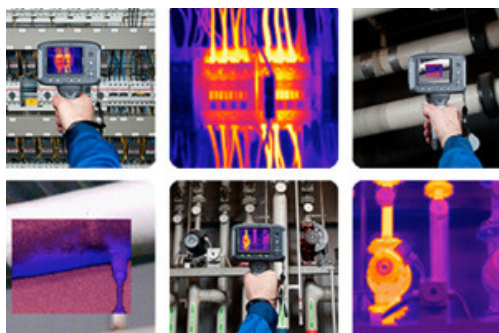


Figura 8. Câmera termográfica.

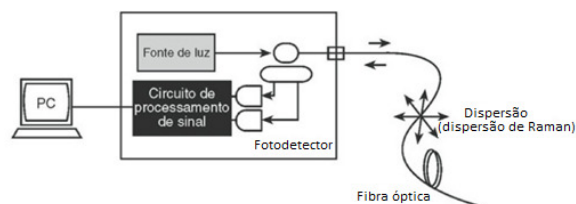
Fonte: Balbinot e Brusamarello (2019).

Medidores de Temperatura com Fibras Ópticas

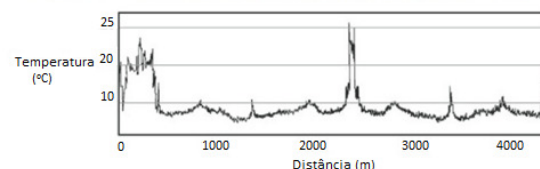
Assim como muitos outros desenvolvimentos tecnológicos, o desenvolvimento da fibra óptica foi impulsionado por interesses militares, após a Segunda Guerra Mundial. Inicialmente, o interesse era para uso nas telecomunicações e giroscópios a laser para navegação de naves e mísseis, sendo mais tarde desenvolvido para sensores robustos, também para aplicações militares.

Independentemente da aplicação, a fibra óptica tem algumas vantagens: insensibilidade a interferências eletromagnéticas; não conduz corrente elétrica (ideal para ambientes explosivos); alcance a longas distâncias; podem ser condicionada em dutos comuns (com aproveitamento de estrutura existente); podem suportar temperaturas de até 300 °C; capacidade para medidas distribuídas intrínsecas; passividade química e imune a corrosão; rigidez e flexibilidade mecânica.

O primeiro sistema de sensoriamento distribuído de temperatura por fibra óptica (DTS) foi apresentado em 1981 na Universidade de Southampton. Com o DTS, é possível medir temperaturas ao longo de grandes distâncias, utilizando-se como sensor apenas um cabo de fibra óptica. Esses sistemas são autocalibrados e podem ser configurados para detectar um rompimento no sensor e a posição desse rompimento. Tais sistemas também possibilitam configurar um valor de temperatura-alarme, acima da qual um sinal é gerado. O sensor de fibra óptica distribuído de temperatura (Figura 9) é baseado na reflectometria no domínio do tempo (OTDR) conhecido como backscatter.



a) Sistema de sensoriamento distribuído de temperatura - DTS



b) Distribuição da temperatura ao longo da fibra óptica.

Figura 9. Sistema DTS (a) e distribuição da temperatura ao longo da fibra óptica (b).

Fonte: adaptada de Balbinot e Brusamarello (2019).

Outras formas de medir a temperatura

A variação da temperatura pode provocar alterações nos materiais, sejam sólidos, líquidos ou gasosos. A percepção dessas alterações permite que a temperatura seja obtida de forma indireta, abrindo uma nova gama de sensores e métodos que podem ser utilizados para a obtenção da temperatura.

Pode-se, por exemplo, obter o valor da temperatura medindo a dilatação de um metal, utilizando sensores de deslocamento, de pressão, de grandezas elétricas, ou associando a variação da temperatura à variação de condições meteorológicas, como temperatura ambiente, irradiação solar e vento. O trabalho de Moreira (2006) mostra como as condições climáticas interferem na temperatura dos cabos condutores, em linhas de transmissão de energia elétrica, e os efeitos causados pela variação da resistência destes.

Ponderações

Escala

Alguns parâmetros básicos devem ser lembrados antes de realizar as medições de temperatura, para que os dados obtidos sejam de fato úteis. Fatores

como a escala de temperatura devem ser definidos antes do início da captação de dados. As escalas mais empregadas, na atualidade, são a Celsius, a Kelvin e a Fahrenheit, mas também já foram usadas outras, apesar de não serem tão populares, como a Rankine e a Réaumur (Planas, 2021).

Outro cuidado que deve ser tomado com relação à escala é a faixa de medição do equipamento. Assim como mostrado na Figura 10, alguns sensores possuem mais de uma opção de apresentação dos números. No caso deste multímetro ilustrado, a tensão, a resistência e a corrente, possuem diferentes faixas de operação.



Figura 10. Multímetro.

Fonte: Oliveira (2020).

As opções com menores valores, como no caso da resistência, 200 Ω , possuem maior precisão, ou seja, pode apresentar valores com casas decimais confiáveis, entretanto não medem valores, neste caso, acima de 200 Ω . Portanto, para medições de valores maiores as opções de escalas indicadas são 2000, 20k, 200k e 2000k, ao passo que, respectivamente nesta ordem, vão perdendo precisão.

Sensor

Assim como apresentado no item anterior, também é essencial que seja escolhido o tipo de sensor correto de acordo com a medição a ser realizada. Os diferentes tipos de termômetros foram criados a fim de atenderem às necessidades em cada circunstância, portanto utilizar um método de medição incoerente com o contexto pode comprometer os resultados obtidos.

Erro de medição

Os erros de medidas podem ser tratados de diferentes maneiras, de acordo com o tipo de erro e com objetivo da medição. Existem erros de calibração, os quais acontecem devido a problemas no equipamento e não podem ser tolerados. Erros sistemáticos, os quais acontecem de acordo com a metodologia de medição e devem ser eliminados ou corrigidos por meio de técnicas. Erros aleatórios, os quais podem

ocorrer de diferentes maneiras e, estes, devem ser eliminados através do tratamento de dados, ou seja, técnicas estatísticas.

Em geral, os erros dificilmente conseguem ser eliminados de uma medição, mas, utilizando técnicas, equipamentos e procedimentos corretos, podem ser minimizados. O próprio tempo de resposta dos humanos é um erro intrínseco em determinadas medições e, nem por isso, estas medições não são precisas e confiáveis.

Tratamento de dados

O tratamento de dados é essencial não só em medições, mas em diversos campos da ciência. Este procedimento melhora a qualidade das amostras, identifica e corrige possíveis erros, melhora a confiabilidade dos resultados e facilita a tomada de decisões.

Este tratamento pode ser realizado com o auxílio de softwares específicos ou até mesmo de forma manual, aplicando técnicas básicas como média, mediana, desvio padrão, variância, dentre outros procedimentos (Lira, 2014).

Tempo de resposta

Principalmente em medições de temperatura, o tempo de resposta é um fator essencial a ser levado em consideração.

Em casos em que ocorrem variações de temperatura muito abruptas, deve ser utilizado um sensor que rapidamente responda a esta alteração com precisão. Quanto mais rápida for a resposta do sensor, mais precisa será a medição, ao passo que um termômetro lento pode comprometer as medições (Lira, 2014).

Em algumas aplicações, sensores lentos podem gerar risco aos operadores, uma vez que alterações críticas de temperatura que não sejam observadas podem ser perigosas.

Por outro lado, em medições onde a rapidez de resposta do sensor não é essencial, podem ser utilizados termômetros mais lentos, como os de líquido em bulbo de vidro, e, nestas medições, deve ser considerado o tempo de estabilização do valor amostrado (Balbinot e Brusamarello, 2019).

Calibração

A calibração é o processo de regulagem de um equipamento de medição a fim de garantir a precisão dos dados obtidos. Este processo utiliza um ou mais aparelhos padrões como referência para comparação das medidas e, dessa forma, realizar possíveis ajustes (Lira, 2014).

No mercado de serviços, laudos técnicos são solicitados por diversos órgãos reguladores, como por exemplo um laudo técnico de SPDA (sistema de

proteção contra descargas atmosféricas), os quais exigem um certificado de calibração do equipamento utilizado. No exemplo citado, para o SPDA, o INMETRO (instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia) é o órgão responsável por emitir estes certificados (Lira, 2014).

Portanto, para realizar medições de temperatura, ou quaisquer outras grandezas, deve ser utilizado um equipamento que esteja calibrado e, de preferência, com um selo de calibração vigente, uma vez que, frequentemente este processo precisa ser conferido.

CONCLUSÃO

É possível concluir que, para as medições em geral, especialmente nas medições de temperatura, é importante realizar um bom planejamento, a fim de garantir a precisão e a confiabilidade. Existem diversas formas de se fazer a medição, direta ou indiretamente. Fatores, como: tipo de sensor, ambiente de medição, presença de fatores externos, dentre outros, podem influenciar os dados obtidos.

Medições realizadas de forma inadequada podem promover resultados imprecisos ou até inúteis, além de que a falta de planejamento pode gerar riscos de segurança e saúde. Laudos emitidos sem os procedimentos técnicos corretos podem influenciar negativamente na eficiência e segurança de processos industriais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

Balbinot, Alexandre; Brusamarello, Valner João. Instrumentação e Fundamentos de Medidas - Vol. 1. Editora LTC, 3ª Edição, 360 p., 2019.

Dionísio, Rui Vilela. Termopares industriais 1.a Parte. Revista Robótica - Instrumentação, num. 115, ano 30, 2º trimestre de 2019.

Fialho, Arivelto B. Instrumentação Industrial - Conceitos, Aplicações e Análises. Editora Saraiva, 2010. E-book. ISBN 9788536505190. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536505190/>. Acesso em: 29/03/2023.

Fluke. Scanner de temperatura de precisão 1586A-Super-DAQ. Fluke Corporation, 2023. Disponível em: <https://br.flukecal.com/products/data-acquisition-test-equipment/data-acquisition/scanner-de-temperatura-de-precis%C3%A3o-1586a-s>. Acesso em 06/03/2023.

Lira, Francisco Adval de; ROCCA, Jairo E. Metrologia - Conceitos e Práticas de Instrumentação. Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536519845. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536519845/>. Acesso em: 29 mar. 2023.

Moreira, F. S. Influência do Cálculo da Ampacidade no Despacho da Operação. Tese de doutorado. Unicamp, Campinas/SP, 2006.

Oliveira, Ferragista Casa. Multímetro Digital 9V – THOMPSON-880. Ferragista Casa Oliveira Virtual, 2020. Disponível em: <https://ferragistacasaoliveiravirtual.com/produto/multimetro-digital-9v-thompson-880/>. Acesso em 07/03/2023.

Omega. 12" & 6" General Purpose Red Liquid Indicating Thermometers. Omega Engineering, Inc., 2023. Disponível em: <https://www.omega.com/en-us/temperature-measurement/dial-and-stem-thermometers/c/liquid-in-glass-thermometers>. Acesso em: 01/03/2023.

Planas, Oriol. Quais são as principais escalas de temperatura?. Energia Solar, 2021. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/termodinamica/propriedades-termodinamicas/temperatura/escalas>. Acesso em: 03/03/2023.

Rigitech. Termômetro portátil à prova d'água com sensor PT-100. Rigitech Instrumentação e Medição Ltda, 2023. Disponível em: <https://www.rigitech.com.br/termometro-portatil-a-prova-dagua-com-sensor-pt-100>. Acesso em: 06/03/2023.

Termotrorc. Termômetro Manômetro. Termotrorc, 2023. Disponível em: <https://www.termotrorc.com.br/termometro-manometro>. Acesso em: 05/03/2023.

Wika. Termômetro bimetalico. Wika do Brasil Indústria e Comércio Ltda, 2023. Disponível em: https://www.wika.com.br/55_pt_br.WIKA. Acesso em: 05/03/2023.