

Monitoramento de temperatura em processos industriais com Arduino

Temperature monitoring in industrial processes with Arduino

Dara Ohana Soares dos Santos¹

Jovanna Rodrigues de Oliveira Pacheco²

Carlos Henrique Alexandrino³

Daniel Moraes Santos⁴

Resumo

O Brasil enfrenta desafios relacionados ao controle de temperatura em diversos processos industriais, especialmente em setores alimentícios, químicos e metalúrgicos. Falhas em processos podem gerar prejuízos econômicos e automaticamente na qualidade de produtos. Com isso, o monitoramento de temperatura é essencial para garantir a eficiência e competitividade no mercado. Objetivo desenvolver um sistema capaz de realizar a medição da temperatura em tempo real, possibilitando o acompanhamento e registro dos dados para auxiliar na tomada de decisão e no aumento da eficiência operacional. A proposta busca demonstrar a viabilidade do uso do Arduino integrado a sensores de temperatura e recursos de interface, oferecendo uma alternativa acessível e confiável para pequenas e médias indústrias.

Palavras-chave: Monitoramento de temperatura; Processos industriais; Arduino.

Abstract

Brazil faces challenges related to temperature control in various industrial processes, especially in the food, chemical, and metallurgical sectors. Process failures can lead to economic losses and consequently affect product quality. Therefore, temperature monitoring is essential to ensure efficiency and competitiveness in the market. The objective is to develop a system capable of

¹Graduanda em Engenharia de Produção pela UFVJM, E-mail: dara.santos@ufvjm.edu.br,
Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-9722-9331>

² Graduanda em Engenharia de Produção pela UFVJM, E-mail: jovanna.rodrigues@ufvjm.edu.br,
Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-5147-0681>

³ Doutor em Geofísica pelo Observatório Nacional, Professor Titular da UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, E-mail: carlos.alexandrino@ufvjm.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9408-4644>

⁴Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, docente adjunto II na UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, E-mail: daniel.moraes@ufvjm.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6355-9616>

measuring temperature in real time, enabling data tracking and recording to aid in decision-making and increase operational efficiency. The proposal aims to demonstrate the feasibility of using Arduino integrated with temperature sensors and interface resources, offering an accessible and reliable alternative for small and medium-sized industries.

Keywords: Temperature monitoring; Industrial processes; Arduino.

¹Graduanda em Engenharia de Produção pela UFVJM, E-mail: dara.santos@ufvjm.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-9722-9331>

²Graduanda em Engenharia de Produção pela UFVJM, E-mail: jovanna.rodrigues@ufvjm.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-5147-0681>

³Doutor em Geofísica pelo Observatório Nacional, Professor Titular da UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, E-mail: carlos.alexandrino@ufvjm.edu.br, Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-9408-4644>

⁴Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia, docente adjunto II na UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, E-mail: daniel.moraes@ufvjm.edu.br
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6355-9616>

1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos é impossível não reconhecer que a humanidade se tornou dependente de ferramentas mais eficientes para realizar todo tipo de atividade desde da mais simples até a mais complexa (Cavalcante, 2011; Silva, 2011), o avanço tecnológico e a constante mudança no mundo não foi diferente ao setor produtivo, implementando assim controladores industriais (Miyagi, 1996).

Através dos avanços digitais os sistemas foram capazes de criar perfeitamente uma forma de comunicação entre as máquinas, sendo assim a colaboração foi se tornando mais autônoma e os processos foram otimizados e tiveram mais eficiência (Muhuri et al., 2019).

O monitoramento de temperatura em processos industriais é um dos fatores essenciais para garantir o controle da qualidade, eficiência produtiva e segurança e conformidade com normas ambientais. Alterações sem o acompanhamento podem gerar diversas causas como, perdas de insumos, aumento no consumo energético, custos, retrabalho e até gerar falhas em equipamentos. (Reis 2021) destaca que o controle da temperatura permite redução de custos e desperdícios na produção:

Controlar a temperatura do material na linha de produtos auxilia, por exemplo, a identificar produtos que venham a ser defeituosos, pois ajuda a identificar pontos de inatividade e determinar a causa raiz do problema no decorrer do processo (Reis, 2021).

Nesse contexto, o uso de microcontroladores, como o Arduino, vem se mostrando uma alternativa variável e acessível para automatização desses processos em diferentes contextos (Martinazzo et al,2014).

A utilização de dispositivos capazes de monitorar processos e produtos industriais apresenta-se uma elevada importância para os setores, visando que a coleta desses dados sobre temperatura, tensão, força entre outras variáveis, pode influenciar diretamente na qualidade dos processos e/ou produtos. Além disso, tais informações são essenciais para o aumento da precisão, minimizando a ocorrência de defeitos e a otimização do tempo de execução das atividades produtivas (Deepak et al., 2023).

Em pesquisas realizadas pela ABRAPE (Associação Brasileira de Prevenção de Perdas) cerca de 7,85% de mercadorias são perdidas por refrigeração inadequada, o que demonstra a importância de manter sistemas de refrigeração eficientes e monitoramento constante para garantir a integridade dos produtos e reduzir prejuízos operacionais.

Segundo True Cost of Downtime destacou que indústrias perdem cerca de 323 horas de produção por ano devido a falhas de equipamentos, 34% deve-se a falha de controle dos

equipamentos, causando paradas não programadas. Os prejuízos vão além de produtos, a falta de controle coloca em risco a segurança dos colaboradores. A segurança imputada na NR 14 caracteriza padrões específicos para garantir a integridade dos trabalhadores nos ambientes de alta exposição a temperaturas e demais condições.

A real abordagem da segurança de processos deve pesquisar, identificar e analisar riscos e atenuar ou eliminar as ameaças à vida, e integridade das instalações (Crowl; Louvar, 2019), visando a prevenção de acidentes industriais, a proteção do meio ambiente e a continuidade das operações. Para isso, é fundamental a implementação de sistemas de gestão de segurança eficazes, a capacitação contínua das equipes e a cultura organizacional voltada para a prevenção e resposta rápida a incidentes.

Diante da necessidade de sistemas de monitoramento no setor industrial e considerando a ampla disponibilidade de sensores, bem como suas limitações, seja em termos financeiros ou de implementação, Martinazzo et al (2014) destacam que o Arduino é uma ferramenta que pode auxiliar o estudo em escolas e universidades, devido à capacidade de coleta de dados e sua possibilidade de inclusão com sensores. Essa capacidade possibilita a análise de fenômenos como resistência, corrente elétrica e capacidade, além de proporcionar conhecimento sobre microcontroladores e processador.

Através do sensoriamento, efetiva-se a coleta de dados diretamente nas máquinas; os sistemas computadorizados processam essas informações em tempo real e tomam decisões por meio de algoritmos inteligentes, utilizando a computação em nuvem com um banco de dados armazenado na internet, o que permite maior escalabilidade e acesso remoto às informações (Fengque et al., 2017).

Ademais, o sistema IoT (Internet das Coisas), composto por dispositivos sensoriais com identificação única no sistema computacional e conectados à rede, possibilita a interação máquina a máquina (M2M) sem a necessidade de interferência humana, promovendo maior autonomia operacional, redução de falhas e aumento da eficiência produtiva (Kamble et al., 2018). Essa conectividade em tempo real entre equipamentos, sensores e sistemas centralizados representa um avanço significativo na automação industrial, caracterizando um dos pilares fundamentais da Indústria 4.0, onde a integração entre tecnologias digitais, inteligência artificial e análise de dados transforma processos produtivos em ambientes inteligentes, responsivos e otimizados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Monitoramento de Temperatura em Processos Industriais

Com o avanço tecnológico a forma de coleta das temperaturas foi evoluindo, pois antes este processo era demorado, o operador percorria toda planta industrial fazendo a análise e leitura de cada equipamento presente no processo, gerando tempo e podendo ocorrer às falhas ocorridas na produção. Com o passar do tempo os processos industriais foram ficando cada vez mais complicado para ser resolvidos tornando a forma de obsoleto, sendo necessário a utilização de centrais de controle. que são equipamentos eletrônicos desenvolvidos para gerenciar o trabalho dos sensores captando e concentrando todas as informações continuamente, o que auxiliava na análise e detecção de possíveis falhas. (Mulina, 2011).

Nos processos industriais no qual a temperatura é uma variável de grande influência no sistema, sua medição e seu controle são indispensáveis para a qualidade do produto e também visa garantir a segurança não só das máquinas como também do operador. Independente do tipo de processo, a temperatura pode promover mudanças no ritmo da produção, qualidade do produto, segurança do equipamento e/ou pessoal, consumo de energia e por consequência o custo de produção (Verly, et al., 2012).

2. 2. Controle de Qualidade

A palavra qualidade é geralmente utilizada para designar a excelência de um produto ou serviço. Em algumas indústrias, a qualidade pode ser usada para indicar que um produto está em conformidade com certas características físicas estabelecidas com uma especificação particularmente "restrita". Mas, se quisermos gerenciar a qualidade, ela deve ser definida de uma forma que reconheça os verdadeiros requisitos do consumidor (Oakland, 2019).

Precisamos de uma medida de algumas características e de uma base de comparação para podermos descrever a qualidade das coisas. Sendo assim, ao combinar a definição dos termos “qualidade” e “requisitos” na ISO 9000:2000, podemos expressar qualidade como o grau em que um conjunto de características fundamentais atende a uma necessidade ou expectativa reconhecida, geralmente implícita ou obrigatória (Hoyle, 2001).

Além disso, a qualidade pode ser caracterizada pela perfeição, pois compreender a qualidade como perfeição é notar que se trata de um resultado que nunca será de fato alcançado, sendo assim, tem-se como consequência um processo denominado melhoria contínua. A melhoria contínua é uma filosofia operacional impulsionada pela alta administração que diz: "Melhoramos continuamente todos os nossos serviços, todos os processos de nossa organização. Em suma, melhoramos continuamente tudo o que fazemos." (Amsden; Butler; Amsden, 1991).

No contexto da Indústria 4.0, a gestão da qualidade vem assumindo um papel importante, marcado pela crescente digitalização e automação dos processos produtivos. Sendo assim, a gestão

da qualidade se adapta para atender aos desafios e às demandas dessa nova era industrial. Ela incorpora tecnologias avançadas, análise de dados, integração de sistemas e colaboração para garantir a qualidade dos processos e produtos em um ambiente altamente digitalizado e conectado (MORAIS et al., 2020).

2.3 Arduino como Ferramenta de Automação e Monitoramento

O conceito do Arduino surgiu na Itália, em 2005, com o objetivo de desenvolver um dispositivo para controlar projetos e protótipos de forma mais acessível do que outros sistemas disponíveis no mercado. Existem diversas placas de Arduino, todas utilizando a mesma linguagem de programação, porém a versão UNO é, de longe, a mais utilizada. A maioria dessas placas mantém as mesmas conexões com o ambiente externo, o que permite utilizar qualquer modelo com facilidade (Silva, 2014; Monk, 2013).

Suas aplicações vêm sendo cada vez mais reconhecidas nos meios científico e industrial, abrangendo uma ampla diversidade de áreas com potencial para a implantação desse produto. Isso porque os dispositivos Arduino possibilitam a criação de projetos inovadores de forma rápida e com fácil manuseio, servindo como um instrumento eficiente na elaboração de projetos em escala piloto ou em dimensões maiores, com o objetivo de aprimorar o desempenho e o acompanhamento das operações industriais (Ferreira et al., 2015).

A automação industrial pode ser compreendida como a aplicação de sistemas eletrônicos, computacionais e mecânicos para controlar os processos produtivos. Segundo Lida (2004), trata-se de um conjunto de técnicas e tecnologias destinadas a aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos, buscando reduzir custos e aprimorar as condições de trabalho.

Segundo Gomide (2015), a automação industrial baseia-se em um método de organização da produção que utiliza equipamentos, dispositivos eletrônicos e sistemas de controle para a execução automática de tarefas. Essa tecnologia pode ser aplicada em diversos setores industriais, incluindo a indústria automobilística, química e alimentícia, entre outros (Carvalho et al, 2023).

As indústrias buscam constantemente alcançar um desempenho excepcional em termos de confiabilidade, sustentabilidade, flexibilidade e produtividade. Avaliar o nível de produtividade é de extrema importância para a gestão e análise da qualidade organizacional. A gestão está focada na conformidade com especificações, na atratividade do produto, na rapidez de resposta às mudanças, na redução de defeitos, na agilidade da manufatura e na incorporação de aspectos tecnológicos. A integração desses fatores contribui para o aumento da produtividade e fortalece a competitividade da empresa no mercado (Marino, 2006).

Os ambientes fabris apresentam condições adversas para muitas tecnologias, como a

exposição a poeira, resíduos, variações de temperatura, vibração, umidade, entre outros fatores, exigindo inovação e segurança nos equipamentos utilizados na indústria (Villalba-Diez et al., 2019). Embora ainda pouco propagado, os sensores infravermelhos de temperatura surgem como alternativa aos sensores convencionais (Keranen et al., 2010). Os avanços em sensoriamento têm permitido a implementação de novas tecnologias, como câmeras termográficas de visão para processos industriais, possibilitando maior automação das operações (Szurgacz et al., 2021).

2. 4. Segurança Operacional

A transformação digital, em toda a sua amplitude, pode ser descrita como uma estratégia ou processo que vai muito além da simples implementação de tecnologias digitais. Ela envolve uma mudança profunda no núcleo da empresa e na forma de trabalho. Para isso, a transformação digital requer alterações orientadas pelo cliente e apoiadas pela gestão, promovendo a mudança da cultura corporativa por meio do desenvolvimento e da implantação de tecnologias avançadas que possibilitam a descoberta de novas formas de trabalho e a otimização de rotinas (Sony et al., 2020).

A utilização de um circuito eletrônico permite recuperar informações e responder ao ambiente com ação programada anteriormente constitui-se em um sistema de segurança (Traister, 2002).

Para Bolzani um sistema será confiável quando executar algumas funções indispensáveis, entre essas funções a prevenção permite que haja a criação de barreiras físicas e virtuais para impedir invasões. Alarmes e detecção indica a possibilidade de comunicar com os sensores que respondem identificando possíveis ameaças e soando alarmes. A identificação e reconhecimento configura como o mecanismo que distingue usuários permitidos e não permitidos, e assim aciona as funções programadas.

O retardo é o tempo dedicado à análise das condições dos sensores e câmeras para verificar a possibilidade de falsos alarmes ou aguardar uma ordem do usuário. De acordo com Neves (2012), essa fase é essencial para garantir que o sistema tome decisões mais precisas e minimize os riscos de falsas notificações. Por fim, a reação envolve a execução de atividades programadas para retardar ou cancelar o processo de intrusão, além de emitir alertas.

2. 5 Conformidades com Normas Ambientais

O controle e o monitoramento da temperatura em ambientes industriais não são apenas questões de eficiência operacional, mas também de conformidade com normas ambientais e regulamentações

trabalhistas. segundo a Norma Regulamentadora 9 (NR-9), que se trata dos riscos ambientais, ela estabelece que os ambientes de trabalho devem manter condições térmicas adequadas, adotando medidas como a redução de fontes de calor, ventilação eficiente e controle da umidade relativa do ar (BRASIL, 1978). Esse requisito mostra a necessidade do monitoramento constante da temperatura, com foco maior em processos produtivos onde há geração significativa de calor.

Complementando essa diretriz, a NR-36 fala sobre a precisamente dos ambientes climatizados, determinando que os espaços industriais devem optar por sistemas que permitam o controle e o registro das condições térmicas, garantindo o conforto e a segurança ocupacional dos trabalhadores (BRASIL, 2013). Tais disposições reforçam a importância de sistemas automáticos de aquisição e registro de dados, como os baseados em Arduino, que permitem acompanhar variações térmicas em tempo real e agir preventivamente para evitar condições fora dos padrões estabelecidos.

Além das normas trabalhistas, há também condições de órgãos reguladores como a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que por meio da RDC 786/2023 e de outras resoluções, que define padrões rigorosos para o controle e o monitoramento de temperatura e umidade em processos de armazenamento e produção. De acordo com a ANVISA (2023), é obrigatória a instalação de instrumentos de medição que garantam o rastreamento e registro contínuo das condições ambientais, deixando a qualidade dos produtos e a conformidade com as boas práticas industriais.

Essas normas mostram que o controle térmico industrial deve ser guiado de forma sistemática e documentada, alinhando-se aos princípios da Gestão Ambiental e às normas da ABNT NBR ISO 14001, que orientam a implantação de sistemas de gestão baseados em monitoramento e melhoria contínua. Sendo assim, o uso do Arduino surge como uma alternativa tecnológica de baixo custo e alta eficiência para atender a essas exigências, permitindo o registro automatizado das variáveis ambientais, o armazenamento histórico dos dados e o cumprimento das conformidades normativas exigidas nos processos industriais.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Componentes

O protótipo foi desenvolvido com o objetivo de realizar medições de temperatura em um sistema industrial. Para isso, serão utilizados componentes eletrônicos de fácil integração, sendo eles:

Quadro 1 – Equipamentos Utilizados e seus Respectivos Preços

Equipamentos	Preço
Arduino UNO	Fornecido pelo professor
Sensor DHT11	Fornecido pelo professor
Led RGB 5mm (Cátodo Comum)	R\$ 11,50
Buzzer 5V	R\$ 16,90
Protoboard de 400 pinos	Fornecido pelo professor
Resistores de 330 Ω e 10 k Ω (três de cada)	R\$ 3,25
Jumpers	R\$ 12,03

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

O circuito será montado em protoboard, interligando os componentes. A programação será desenvolvida para realizar a coleta e leitura dos dados da temperatura e controlar os dispositivos de sinalização visual e sonora conforme os critérios definidos.

3.2 Sensoriamento

O sistema será projetado para medir a temperatura ambiente por meio do sensor DHT11, que enviará as informações ao microcontrolador. De acordo com a faixa de temperatura detectada, o LED RGB indicará visualmente o nível correspondente e, em situações de temperatura elevada, o buzzer será acionado como alerta sonoro.

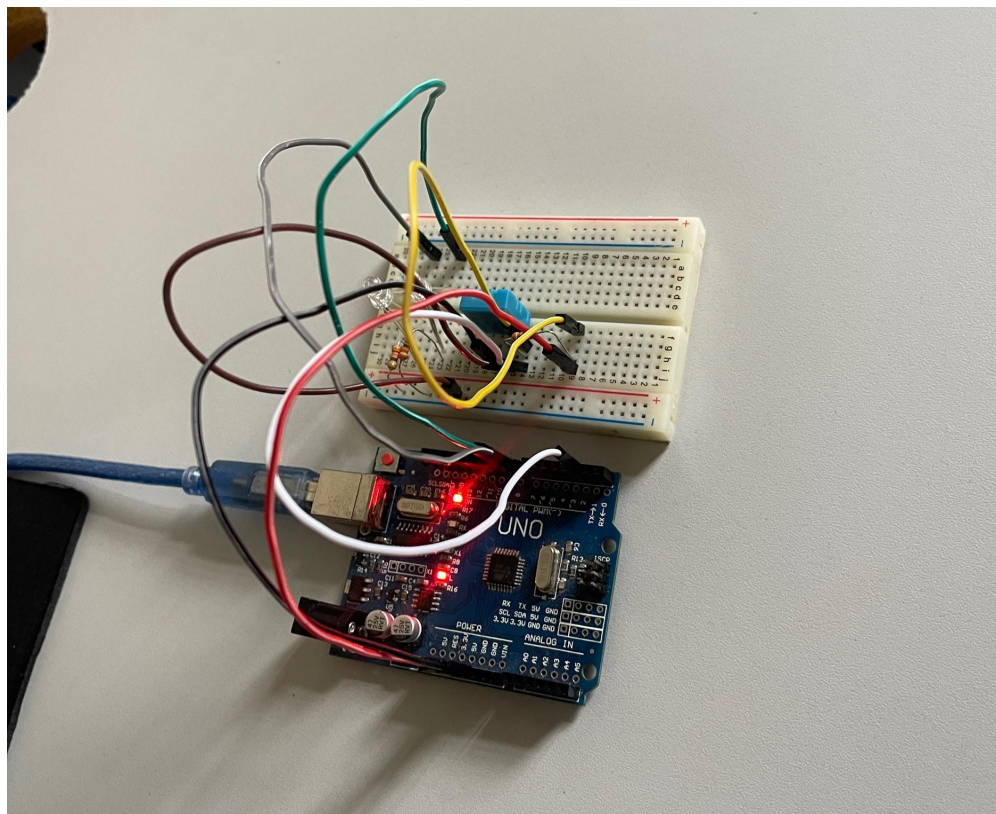
Os dados coletados poderão ser transmitidos sem fio para outro dispositivo, permitindo o monitoramento remoto do sistema e o acompanhamento das variações de temperatura em tempo real.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O protótipo montado para o monitoramento de temperatura em processos industriais não tenha sido totalmente executado, foi possível realizar a montagem do circuito utilizando os seguintes equipamentos, tais como: Arduino Uno, sensor de temperatura DHT11 e demais componentes eletrônicos.

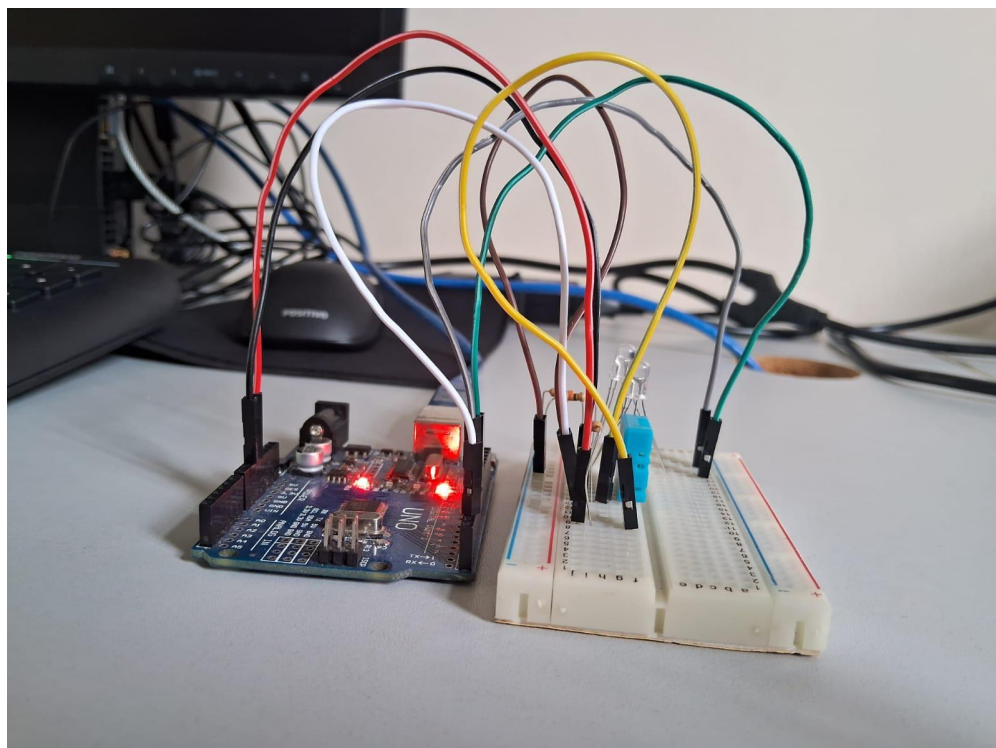
A Figura 1 e 2 ilustra a construção completa do sistema no protoboard, incluindo o sensor devidamente conectado às portas do Arduino. A montagem foi realizada conforme o que estava planejado. Assim, deu para conferir se o circuito estava ligado corretamente e se não tinha nenhum erro visível nos fios e conexões.

Figura 1 – Montagem do Circuito Arduino com Protoboard



Vista superior da montagem do Arduino com a protoboard.
Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Figura 2 – Montagem do Circuito Arduino com Protoboard



Vista frontal da montagem do Arduino com a protoboard.
Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Além da montagem física, também foi desenvolvido o código para realização da leitura da temperatura, responsável por capturar os dados do sensor e exibi-los no monitor serial. O código utilizado está apresentado abaixo:

Quadro 2 – Código Arduino para leitura de temperatura e umidade

```
1 float h = dht.readHumidity();      // Leitura da umidade
2 // Leitura da temperatura em Celsius (opcional)
3 float t = dht.readTemperature();  // Leitura da temperatura
4
5 // Verifica se a leitura falhou e avisa o usuario
6 if (isnan(h) || isnan(t)) {
7     Serial.println("Falha ao ler o sensor DHT!");
8     return;
9 }
10
11 // Exibe os valores no monitor serial
12 Serial.print("Umidade:");
13 Serial.print(h);
14 Serial.print(" %\t");
15 Serial.print("Temperatura:");
16 Serial.print(t);
17 Serial.println("*C");
18
19 // Condições para acender os LEDs conforme a temperatura
20 if (t < 26) {
21     digitalWrite(LED_VERMELHO, HIGH);    // Acender o Led vermelho
22     digitalWrite(LED_VERDE, LOW);        // Apagar o Led Verde
23 } else {
24     digitalWrite(LED_VERMELHO, HIGH);    // Acender o LED vermelho
25     digitalWrite(LED_VERDE, LOW);        // Apagar o LED verde
26 }
```

Fonte: elaborada pelos autores (2025).

Apesar de o sistema estar completamente montado e programado, não foi possível realizar a fase final de testes e coleta de dados devido a limitações de tempo e indisponibilidade de locais para pôr em prática a execução do trabalho.

A montagem do circuito e o desenvolvimento do código representam etapas importantes para a aplicação de um sistema de monitoramento de temperatura aplicado a processos industriais. Mesmo não sendo possível a realização prática dos testes, é possível destacar alguns pontos relevantes.

Primeiramente, a estrutura montada demonstra a viabilidade do uso de Arduino como uma solução de baixo custo para monitoramento ambiental e industrial. A programação realizada confirma que é possível capturar valores de temperatura e interpretá-los em tempo real.

Entretanto, a ausência da fase experimental impede a avaliação do desempenho do sensor em condições reais, como:

- estabilidade da leitura,
- precisão em ambientes industriais,
- resposta a variações rápidas de temperatura,
- interferências elétricas.

Além disso, não foi possível verificar a durabilidade do sistema no longo prazo, que é um fator importante em aplicações industriais.

Sendo assim, temos a comprovação de que o circuito e o software funcionam estruturalmente, mas não fornecem dados experimentais pois não foi realizada a fase de teste, tendo em vista que futuramente será realizada a fase final de teste.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RDC nº 786, de 11 de abril de 2023**. Dispõe sobre as Boas Práticas de Distribuição, Armazenagem e Transporte de Medicamentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://blog.syos.com/blog/rdc-786-controle-de-temperatura-e-boas-praticas/>. Acesso em: 21 out. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14001: Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR-9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais**. Brasília: MTE, 1978. Disponível em: <https://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr9.htm>. Acesso em: 21 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR-36 – Segurança e Saúde no Trabalho em Empresas de Abate e Processamento de Carnes e Derivados**. Brasília: MTE, 2013. Disponível em: <https://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr36.htm>. Acesso em: 21 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Portaria SIT nº 9, de 30 de março de 2007**. Aprova o texto da Norma Regulamentadora nº 17 (Ergonomia) e dispõe sobre condições ambientais. Brasília: MTE, 2007. Disponível em: https://www.normaslegais.com.br/legislacao/portariasst9_2007.htm. Acesso em: 21 out. 2025.

CAVALCANTE, Z. V.; SILVA, M. L. S. **A importância da Revolução Industrial no mundo da tecnologia**. VII Encontro Internacional de Produção Científica. Ed. Cesumar: Maringá, 2011. Disponível em: http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2011/anais/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf Acesso em: 30 set. 2025.

CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. **Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications**. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2019.

FENGQUE, Pei et al. **Research on design of the smart factory for forging enterprise in the industry 4.0 environment**. Mechanics, v. 23, n. 1, p. 146-152, 2017.

HANAUER, A.; CECCONELLO, I. **Sensoriamento para automatização em processo industrial de tratamento térmico**. Revista Produção Online, 23(2), 4846, 2023.
<https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i2.4846>. Acesso 15 set 2025.

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. **Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives**. Process safety and environmental protection, v. 117, p. 408-425, 2018.

MARTINAZZO, C. A.; TRENTIN, D. S.; FERRARI, D.; PIAIA, M. M.; **Arduino: Uma tecnologia no ensino de física**. Perspectiva, Erechim. v. 38, n.143, p. 21-30, setembro/2014.

MIYAGI, P.E. **Controle programável: fundamentos do controle de sistemas a eventos discretos**. São Paulo: Edgard Blucher, 1996. 194p.

MUHURI, Pranab K.; SHUKLA, Amit K.; ABRAHAM, Ajith. **Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview**. Engineering applications of artificial intelligence, v. 78, p. 218-235, 2019.

MULINA, B. H. O. **Desenvolvimento de um sistema eletrônico para monitoramento térmico de fornos industriais**. 2011. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora NR-14 – Fornos**. Brasília, 2023. Disponível em:
<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-14-nr-14>. Acesso em: 30 set. 2025

REIS, Wesley. **Por que o controle de temperatura na indústria é uma prioridade**. 2021. Disponível em:
<https://avozdaindustria.com.br/artigos/porque-o-controle-de-temperatura-na-industria-uma-prioridade/>. Acesso em: 30 set 2025.

SPACEK, A. D. **Sistema de gerenciamento remoto de temperatura via rede wireless ZigBee aplicado a aerogeradores de pequeno porte**. 2012. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M.

TI INSIDE Online. **Estudo aponta que indústrias perdem, em média, 323 horas de produção por ano por falhas em equipamentos**. São Paulo, 26 abr. 2024. Disponível em:
<https://tiinside.com.br/26/04/2024/estudo-aponta-que-industrias-perdem-em-media-323-horas-de-producao-por-ano-por-falhas-em-equipamentos/>

VERLY, A. et al. **Controle Aplicado em Tempo Real a uma Planta de Temperatura: Resultados Experimentais**. São João de-Rey, 2011.