

Aplicação de Sensores Inteligentes na Manutenção Preditiva de uma Bomba d'água Residencial

Keila Mendonça de Souza¹, Bruna da Silva Simas², Elisandra Maria Farias da Cruz³, Kamila Mendonça de Souza⁴, Narja Tayna Gadelha Souza⁵, Orlem Pinheiro de Lima⁶

^{1, 2, 3, 4, 5} (Estudante de Pós-Graduação, Departamento de Física, Universidade Do Estado Do Amazonas, Brasil)

⁶ (Professor Pós Doutor Coordenador Geral De Pós-Graduação, Universidade Do Estado Do Amazonas, Brasil)

Abstract:

Background: Este estudo investiga a aplicação de sensores inteligentes para monitoramento em tempo real de vibrações mecânicas e temperatura em uma bomba d'água residencial, com foco na implementação da manutenção preditiva.

Materials and Methods: O protótipo desenvolvido utiliza sensores de vibração (SW-420) e temperatura (DHT11), conectados a um microcontrolador ESP32 via protoboard, com transmissão de dados por Wi-Fi para a plataforma Adafruit IO.

Results: Os resultados demonstram que o sistema é capaz de detectar anomalias dentro dos limites estabelecidos pela norma ISO 10816-3. A pesquisa reforça a viabilidade de soluções de baixo custo para manutenção preditiva, alinhadas aos princípios da Indústria 4.0, evidenciando a importância da prevenção de falhas para reduzir custos operacionais.

Conclusion: O estudo destaca a necessidade de melhorias na precisão das medições e de validação em ambientes industriais. Trabalhos futuros podem ampliar o tempo de coleta de dados e testar o protótipo em cenários de maior criticidade.

Key Word: Manutenção preditiva; sensores inteligentes; bomba d'água; IoT, Indústria 4.0.

Date of Submission: 08-12-2025

Date of Acceptance: 20-12-2025

I. Introduction

A manutenção de equipamentos, seja em ambientes fabris, instalações industriais ou em qualquer atividade que envolva a fabricação de produtos, é essencial para garantir o bom funcionamento dos processos. Isso porque os equipamentos estão sujeitos a problemas como desgaste, quebras e fraturas, que podem comprometer a produção. Portanto, zelar por esses equipamentos é fundamental para evitar paradas não planejadas, o que reforça a necessidade de um monitoramento contínuo durante as operações.

Conforme destacam [3], a manutenção tem como objetivo principal evitar a necessidade de manutenção. Apesar de parecer contraditório à primeira vista, uma análise mais aprofundada revela que a manutenção tem ganhado cada vez mais relevância, demonstrando sua importância na prevenção de falhas. Isso exige não apenas mão de obra qualificada, mas também equipamentos com funcionalidades que priorizem a prevenção de problemas, em vez de apenas corrigi-los.

Ao associar esse conceito ao fato de que paradas não planejadas geram custos significativos, fica evidente a importância de investir em ações que prolonguem a vida útil dos equipamentos. Isso inclui não apenas a capacitação da mão de obra, mas também a adoção de tecnologias avançadas que minimizem impactos negativos nos processos [4]. Nesse contexto, surgem conceitos amplamente utilizados pelas empresas que visam à Indústria 4.0, como sensores, Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem e a interconexão de dispositivos. Essas tecnologias permitem a coleta simultânea e em larga escala de dados, viabilizando a aplicação de análises de Big Data para gerar informações preditivas sobre a manutenção.

Este estudo busca aplicar esses novos conceitos, destacando que a manutenção, embora seja uma atividade rotineira em qualquer processo produtivo, pode ser otimizada para reduzir custos. A abordagem proposta enfatiza a aplicação de tecnologias para prever cenários que possam levar a paradas obrigatórias de equipamentos ou máquinas. O desenvolvimento da pesquisa ocorre em um cenário comum do cotidiano, uma bomba d'água caseira, muitas vezes negligenciado até que surja a necessidade de manutenção corretiva ou a inativação total do equipamento. O objeto do estudo é gerar previsibilidade de manutenção, com a implementação de sensores e análises de dados.

Por meio dessa abordagem, esse artigo tem o objetivo de desenvolver técnicas de Manutenção Preditiva realizando a instalação de sensores em um motor, que permitem monitorar a saúde da máquina e intervir antes que ocorram disfunções. Essa metodologia não apenas aumenta a eficiência operacional, mas também reduz custos e minimiza impactos negativos em seu processo.

II. Material And Methods

Essa pesquisa aborda um experimento que propõe monitorar vibrações mecânicas e a temperatura ambiente em um motor de uma bomba d'água residencial (Figura 1), por meio de sensores acoplados em uma protoboard e um microprocessador, gerando dados que possam auxiliar em uma manutenção preventiva desse equipamento, proporcionando uma maior segurança e vida útil para ele.



Figura 1: Bomba d'água residencial modelo QB-6

O objeto de estudo da pesquisa possui as seguintes especificações técnicas (Figura 2):

Dados técnicos

Modelo	QB60 linha leve - periférica
Tensão	127 V
Frequência	60 Hz
Potência do motor	½ HP
Corrente	5 A
Vazão (máx)	27 l/min
Altura manométrica total	18 MCA
Profundidade de sucção (máx.)	6 m
Conexão de entrada/saída	1"
Temperatura da água (máx.)	35 °C
Tipo de uso	ocasional
Velocidade sem carga	3450 rpm
Peso	3,38 kg

Figura 2: Especificações Técnicas da Bomba

Para a prototipação foi instalado sensores de temperatura e de vibração, conectados a uma placa protoboard para montar o circuito elétrico, um microprocessador ESP32 que incorpora Wi-Fi e Bluetooth e jumpers para estabelecer as conexões. A Tabela 1 apresenta as especificações de cada material utilizado e a Figura 3 mostra o sistema instalado no motor.

Tabela 1: Especificações dos materiais.

Itens	Quantidades	Materiais
1	1	Protoboard 400 pontos
2	1	ESP8266
3	5	Jumpers (Fêmea)
4	1	Resistor 300 ohms
5	1	DHT11
6	1	Sensor de Vibração (SW-420)
7	1	Protoboard 400 pontos
8	1	Cabo micro USB

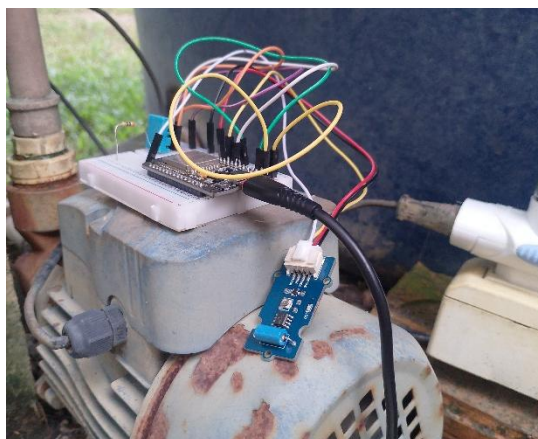


Figura 3: Bomba d'água residencial modelo QB-60 com sensores instalados

Para a análise da coleta dos dados realizada pelos sensores, foi utilizado a linguagem de programação C++ no software Arduino IDE fazendo com que ocorra a conexão entre os sensores e microprocessador. Esses dados foram armazenados na plataforma Adafruit IO e enviados via WiFi, utilizou-se os recursos de desenvolvimento de dashboards e visualização gráfica dos dados, dessa forma fornecendo as análises em tempo real em qualquer dispositivo conectado ao sistema.

E para realizar um monitoramento mais preciso utilizou-se limites de temperatura e vibração recomendados pelo fabricante. A bomba deve ser instalada em lugares bem arejados, protegidos da intempérie e do sol e com temperaturas que não ultrapassem os 35 °C. A Figura 3 apresenta o limite de vibração da QB-60.

Parâmetro	Unidade	Faixa Normal	Faixa de Alerta	Faixa Crítica
Velocidade de Vibração	mm/s (RMS)	0 - 2.5	2.5 - 4.5	> 4.5
Aceleração de Vibração	m/s ² (RMS)	0 - 0.6	0.6 - 1.2	> 1.2
Deslocamento de Vibração	µm (pico-a-pico)	0 - 50	50 - 100	> 100
Frequência de Vibração	Hz	10 - 1000	1000 - 5000	> 5000
Padrão de Referência	-	ISO 10816-3	-	-

Figura 3: Tabela dos limites dos níveis de vibração da Bomba WATER PUMP QB60 – ISO 10816-3

Observações:

- Valores acima da faixa normal indicam necessidade de manutenção preventiva.
- Se os níveis ultrapassam a faixa crítica, pode haver desalinhamento, folga mecânica ou desgaste em rolamentos.
- A vibração pode aumentar devido a instalação inadequada, cavitação ou bloqueios no sistema hidráulico.

A ISO 10816-3 é aplicada principalmente à medição de vibração de máquinas industriais, como motores elétricos alimentados acima de 15 KW e faixa de velocidade (120 RPM-15000RPM); por acelerômetro ou transdutores de velocidade em peças fixas, como caixas de rolamentos.

III. Result

A manutenção preditiva visa antecipar falhas e diagnosticar vestígios de um problema futuro [9]. E dessa forma com a instalação dos sensores obteve-se resultados satisfatórios, visto que o método de coleta de dados resultou em informações que auxiliam nessas análises prévias, evitando assim que a bomba d'água necessite de uma parada obrigatória.

Como apresentado na metodologia, os dados coletados através dos sensores são exibidos na plataforma Adafruit IO em dashboard previamente elaborados, são enviados e atualizados com intervalo de 10 segundos (temperatura e vibração). Essas informações são armazenadas e monitoradas em tempo real, e mesmo sem a conexão de internet os dados são salvos e são atualizados assim que se estabelecer a comunicação. Na Figura 4 e Figura 5 observa-se as imagens da tela gerada pela plataforma em tempo real.



Figura 4: Tela do *Dashboard* da Temperatura

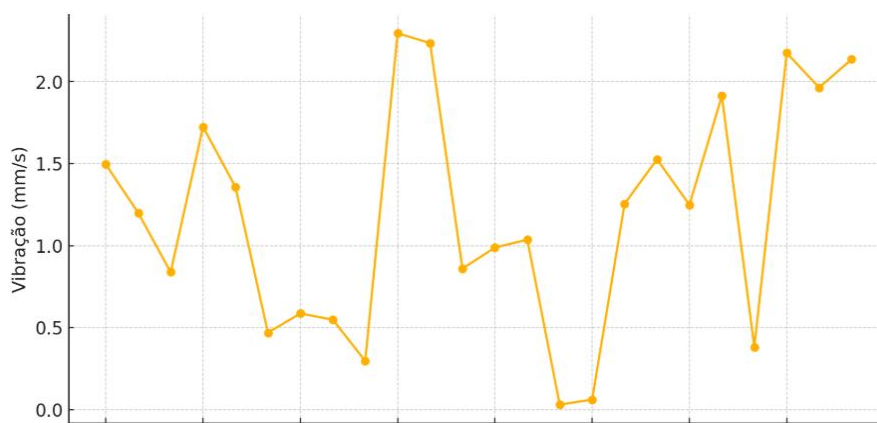


Figura 5: Tela do *Dashboard* da Vibração

A plataforma também gera gráficos com o histórico armazenado dos dados coletados, realizando automaticamente uma média diária, a Figura 6 e Figura 7 mostram respectivamente essas imagens.

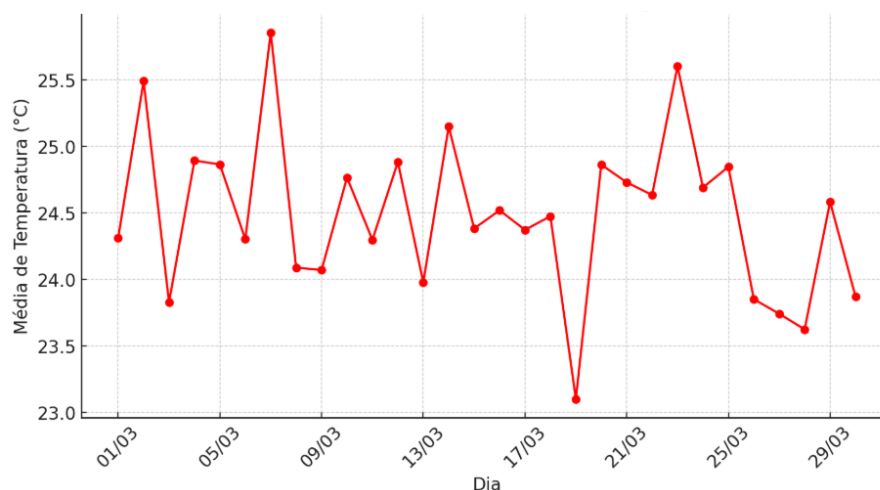


Figura 6: Histórico dos Dados de Temperatura

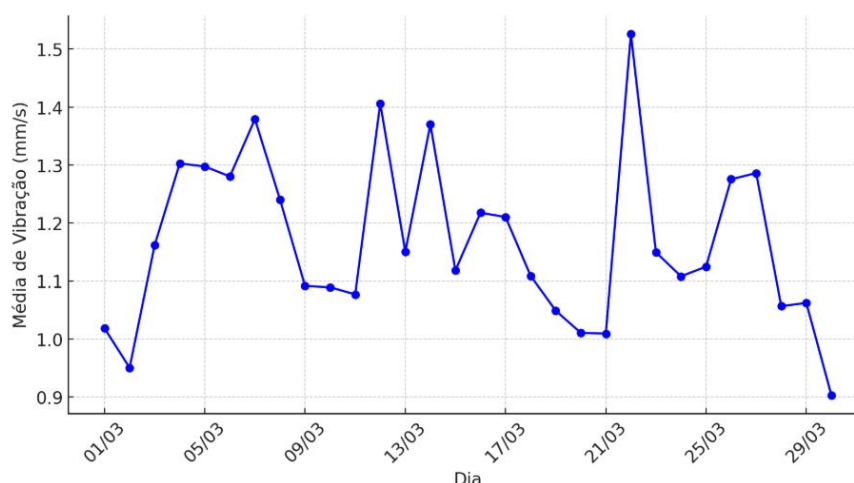


Figura 7: Histórico dos Dados de Vibração

O valor das médias de temperatura registradas durante o período de monitoramento não ultrapassou os limites estabelecidos, o máximo que se pode registrar foi de 29°C, e a velocidade de vibração foi de 2.3 mm/s (RMS), se classificando na Faixa Normal estabelecida pelo fabricante da bomba d'água.

Dessa maneira, consta-se que a prototipação alcançou seu objetivo esperado, por contribuir com dados que podem auxiliar na tomada de decisão, ajudando em uma manutenção preditiva. Entretanto, para ser um produto que possa ser comercializado é preciso melhorar seu arranjo, pois a prototipagem é criada para ser um modelo inicial de um produto e não sua versão final.

IV. Conclusion

Os dados apresentados nesse estudo alcançaram um resultado satisfatório, desenvolvendo a aplicação de sensores inteligentes de baixo custo para um equipamento de bomba d'água residencial. O sistema integra manutenção preditiva e ferramentas da Indústria 4.0, fornecendo informações de forma rápida e simples para o usuário, sem a necessidade de ele precisar compreender termos técnicos para captar a informação.

Apesar do resultado alcançado ser dentro da margem considerada normal, as aferições devem considerar a acurácia do protótipo, podendo ter sido afetado por alguma ação externa, seja na temperatura ou vibração. Visto isso, as próximas etapas para essa pesquisa são em relação a uma melhor locação do dispositivo, para que as medições sejam mais corretas, aumentando a confiabilidade do sistema.

Portanto, o objetivo da pesquisa foi alcançado, promovendo um fortalecimento da manutenção preditiva, mostrando que ela tem um papel estratégico na saúde das máquinas, demonstrando com equipamentos de baixo custo que é possível ver essa prática se torna cada vez mais comum nas empresas, evitando despesas com manutenções não programadas. E buscar esse diferencial com aplicações tecnológicas, faz-se estar inserida na Indústria 4.0.

Para trabalhos futuros sugere-se uma análise com um tempo maior de pesquisa gerando mais dados, para certifica-se da segurança do projeto. E podendo-se também realizar um estudo de caso em uma empresa com o processo contínuo, permitindo que o protótipo atue em um ambiente com maior criticidade, promovendo de forma industrial os benefícios alcançados.

References

- [1]. BARDEY, D. et al. To maintain or not to maintain? What should a risk-averse decision maker do, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 11, p. 115-120, 2005. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1108/13552510510601320>.
- [2]. ERKOYUNCU, John Ahmet et al. Perspectives on trading cost and availability for corrective maintenance at the equipment type level, *Reliability Engineering and System Safety*, n. 000, p. 1-17, 2017. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.05.041>.
- [3]. KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. *Manutenção: função estratégica*. 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, p. 384, 2009.
- [4]. MAIA, Cleber Rodrigues; DO SEGUNDO, Nome. *Manutenção Em Equipamentos Industriais*. Acesso em, v. 12, 2024.
- [5]. MARCORIN, W. R; LIMA, C. R. C. Análise dos Custos de Manutenção e de Não- manutenção de Equipamentos Produtivos, *Revista de Ciência & Tecnologia, Santa Bárbara d'Oeste*, v. 11, n. 22, p. 35-42, 2003. Disponível em: <http://www.drbr-assessoria.com.br/11Custodemanutencao.pdf>.
- [6]. MEHMETI, Xh. et al. The equipment maintenance management in manufacturing enterprises, *IFAC PaperOnline*, v. 51, n. 30, p. 800-802, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631832857X>.
- [7]. NEPOMUCENO, Laur Xavier. *Técnicas de manutenção preditiva*, São Paulo: Edgard Blucher, 1989.
- [8]. NGUYEN, K. T. P; MEDJAHHER, Kamal. A new dynamic predictive maintenance framework using deep learning for failure prognostics, *Reliability Engineering and System Safety*, 2019. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.03.018>.
- [9]. OMSHI, E.M., GRALL, A. and Shemehsavar, S., 2020. A dynamic auto-adaptive predictive maintenance policy for degradation with unknown parameters. *European Journal of Operational Research*, 282(1), pp.81-92.
- [10]. PASCHOAL, D. R. S. et al. Disponibilidade e confiabilidade: aplicação da gestão da manutenção na busca de maior competitividade, *Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA*, n. 3, jan/jun, 2009. Disponível em: <http://www.salesiana.edu.br/EP/Artigos/REV_ENG_3_artigo_3.pdf>.
- [11]. RUCHEL, Edson et al. Industrial maintenance decision-making: A systematic literature review, *Journal of Manufacturing Systems*, Paraná, v. 45, p. 180–194, 2017. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.09.003>.
- [12]. SCHLAEPFER, Ralf C.; KOCH, Markus; MERKOFER, Philipp. *Industry 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*, 2015.
- [13]. SELKITTO, Miguel Afonso. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos, *Produção*, v. 15, n. 1, p. 044-059, jan/abr., 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/prod/v15n1/n1a04.pdf>.
- [14]. VIANA, Herbert Ricardo Garcia. *Planejamento e controle de manutenção*, Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2002.
- [15]. WANG, Yuanhang et al. A corrective maintenance scheme for engineering equipment, *Engineering Failure Analysis*, China, v. 36, p. 269-283, 2014. Disponível em: <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.10.006>.