

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO (UFMA)
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA BICT

ANDRÉ RUBENS RODRIGUES FALCÃO
FELLYPE MOTA FONSECA
GEOVANE PINTO MOUZINHO
JOSÉ JOÃO MONTEIRO COSTA

PESQUISA POR TECNOLOGIAS DE PONTA
Automação de irrigação com Bomba d'água

São Luís, MA
2025

SUMÁRIO

1. Introdução.....	3
2. Metodologia.....	3
3. Tecnologia 1.....	3
4. Tecnologia 2.....	3
5. Tecnologia 3.....	4
6. Análise comparativa.....	4
7. Conclusões.....	4
8. Referências bibliográficas.....	4

1. Introdução

A gestão eficiente dos recursos hídricos é uma preocupação crescente não apenas em larga escala, mas também no âmbito doméstico, onde a busca por práticas sustentáveis e a valorização da água se tornam cada vez mais evidentes. A irrigação muitas vezes resulta em desperdício de água ou demanda um tempo considerável quando realizada manualmente. Métodos tradicionais podem não apenas consumir mais água do que o necessário, mas também exigir uma dedicação que nem sempre se encaixa na rotina moderna. Neste contexto, a automação de sistemas de irrigação surge como uma solução inteligente e acessível, capaz de otimizar o consumo de água, reduzir a necessidade de intervenção manual e assegurar a vitalidade das plantas, agregando praticidade e sustentabilidade ao cuidado de áreas verdes particulares. O presente projeto, intitulado "Automação de Irrigação com Bomba d'água", visa desenvolver um sistema que enderece essas questões especificamente para aplicação em um jardim residencial.

O principal objetivo deste documento é investigar, analisar e apresentar um panorama de tecnologias avançadas e relevantes que podem ser empregadas na concepção de um sistema de irrigação automatizado moderno e eficiente. Através desta pesquisa, busca-se identificar soluções inovadoras que possam ser integradas ao controle de uma bomba d'água e ao monitoramento das condições ambientais e do solo, visando uma tomada de decisão mais precisa e autônoma para o manejo da irrigação.

A pesquisa explorará avanços em áreas como microcontroladores com capacidade de processamento e comunicação, sensores inteligentes para monitoramento ambiental e do solo, plataformas de Internet das Coisas (IoT) para coleta e visualização de dados remotos, e estratégias de controle inteligente para o acionamento de bombas d'água. Serão analisadas tanto tecnologias emergentes quanto soluções consolidadas que, por sua robustez e acessibilidade, configuram-se como escolhas estratégicas, sempre em comparação com o estado da arte para cada funcionalidade.

Ao longo dos próximos tópicos, serão detalhadas as tecnologias selecionadas e investigadas, discutindo suas características, vantagens, desvantagens e potencial de aplicação no sistema de automação de irrigação proposto. Espera-se que as informações e análises aqui compiladas sirvam como um guia fundamental para as decisões de design e implementação do projeto, contribuindo para o desenvolvimento do mesmo.

2. Metodologia

Esta pesquisa adotou uma abordagem exploratória e analítica, através de revisão bibliográfica e documental, para identificar e avaliar tecnologias de ponta para a automação de irrigação residencial com bomba d'água. As informações foram coletadas em bases de dados acadêmicas (Google Scholar e SciELO), documentação técnica de fabricantes, publicações especializadas e fóruns técnicos, utilizando primeiramente palavras chave como "automação" e "irrigação".

Os critérios de seleção e análise das tecnologias incluíram relevância para o projeto e principalmente aplicabilidade. Como limitações, a pesquisa concentrou-se em tecnologias acessíveis para prototipagem de baixo custo e baseou-se em dados, não incluindo testes experimentais de todas as alternativas de ponta.

3. NodeMCU v3 Lolin

O NodeMCU v3 Lolin é um microcontrolador desenvolvido com base no chip ESP8266 e amplamente utilizado em projetos que envolvem conectividade via Internet das Coisas (IoT). Trata-se de uma placa compacta, de baixo custo, que oferece conectividade Wi-Fi nativa e capacidade de processamento adequada para o controle de sensores e atuadores em tempo real. Opera com tensão de 3,3 volts e possui diversas portas digitais (GPIOs), além de uma porta analógica, que permitem a integração com diferentes componentes eletrônicos. Um dos grandes diferenciais do NodeMCU é sua compatibilidade com a plataforma Arduino IDE, o que facilita a programação mesmo para usuários iniciantes, utilizando linguagem C/C++ e bibliotecas livres disponíveis na comunidade.

No contexto de automação da irrigação, o NodeMCU funciona como a unidade central de processamento. Ele é responsável por coletar os dados fornecidos por sensores de umidade do solo e do ar, interpretar essas informações e tomar decisões automatizadas, como acionar uma motobomba ou uma válvula solenóide. Além disso, sua conectividade sem fio permite o envio de dados para plataformas de armazenamento em nuvem, como o ThingSpeak™, onde é possível visualizar gráficos em tempo real e monitorar remotamente o funcionamento do sistema. Isso torna o NodeMCU ideal para aplicações em agricultura de precisão, estufas, hortas urbanas e propriedades rurais de pequeno porte. Sua combinação de robustez, simplicidade, flexibilidade e baixo custo contribui significativamente para a disseminação de soluções tecnológicas acessíveis no meio agrícola. Embora apresente limitações como a presença de apenas uma entrada analógica e a necessidade de atenção com tensões superiores a 3,3V nos pinos, sua versatilidade o consolida como uma escolha popular em projetos de automação ambiental.

4. Sensor de Umidade de solo LM393

O sensor de umidade do solo LM393 é um dispositivo eletrônico simples, funcional e de baixo custo, utilizado para medir a umidade do solo por meio da condutividade elétrica entre dois eletrodos metálicos. O princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica do solo conforme o teor de umidade: quanto mais seco o solo, maior a resistência, e quanto mais úmido, menor. O sensor fornece saída analógica, com valores que variam em uma escala compatível com microcontroladores como o Arduino ou o NodeMCU, e também possui saída digital ajustável através de um potenciômetro. Essa dupla funcionalidade permite tanto leituras contínuas quanto acionamento direto de dispositivos quando um limite crítico de umidade é atingido.

Em sistemas automatizados de irrigação, o LM393 desempenha papel essencial no controle em malha fechada, pois fornece informações precisas e em tempo real sobre o estado hídrico do solo. Esses dados são enviados ao microcontrolador, que analisa os valores e aciona o sistema de irrigação quando necessário, promovendo economia de água e eficiência no uso dos recursos naturais. Um dos pontos positivos do sensor é sua simplicidade de instalação e operação, o que o torna viável mesmo para usuários com pouco conhecimento técnico. Contudo, vale destacar que os eletrodos metálicos podem sofrer corrosão com o tempo, especialmente em solos muito úmidos ou ricos em sais, o que pode afetar sua durabilidade. Além disso, é necessário calibrar o sensor conforme o tipo de solo utilizado para que as leituras sejam representativas. Mesmo com essas limitações, o LM393 é amplamente utilizado em projetos de agricultura doméstica e irrigação controlada, sendo uma solução eficaz para automatizar o fornecimento de água às plantas.

5. Sensor de Umidade e temperatura DHT22

O sensor DHT22, também identificado como AM2302, é um componente eletrônico digital utilizado para medir simultaneamente a temperatura do ar e a umidade relativa. Muito utilizado em projetos de automação ambiental, este sensor destaca-se por sua precisão, estabilidade e simplicidade de integração com microcontroladores como o Arduino e o NodeMCU. O DHT22 opera em uma faixa de temperatura que vai de -40 a 80 °C, com precisão de $\pm 0,5$ °C, e mede umidade relativa de 0 a 100%, com precisão de $\pm 2\%$. A transmissão de dados é feita digitalmente por meio de um único fio, o que facilita a montagem de circuitos e reduz a interferência nos sinais.

No contexto da automação da irrigação, o DHT22 é utilizado para fornecer informações ambientais que auxiliam no cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), um dos indicadores mais importantes para a definição da quantidade ideal de água a ser aplicada nas culturas. O uso deste sensor, aliado a fórmulas como a equação de

Hargreaves & Samani, permite que o sistema de irrigação seja ajustado com base em condições climáticas reais, promovendo um manejo mais preciso e eficiente da água. Os dados gerados pelo DHT22 podem ser enviados para plataformas na nuvem, permitindo que o agricultor monitore remotamente as variações ambientais e adapte o manejo conforme necessário. Testes realizados em comparação com dados oficiais de estações meteorológicas demonstraram que o sensor apresenta excelente confiabilidade, tornando-se uma ferramenta viável para aplicações profissionais e acadêmicas. Apesar de apresentar um tempo de resposta ligeiramente mais lento que sensores industriais, e de exigir cuidados em ambientes com poeira ou umidade excessiva, o DHT22 oferece uma excelente relação custo-benefício para projetos de automação na agricultura.

6. Análise Comparativa

6.1 Introdução à Seção de Análise Comparativa

Esta seção realiza uma análise comparativa das tecnologias de hardware e software pesquisadas para a automação da irrigação em jardins residenciais. Compara criticamente opções, desde as comuns até as de ponta, segundo critérios relevantes ao projeto, visando embasar as escolhas tecnológicas para um sistema doméstico eficiente, confiável e adequado.

6.2 Microcontroladores e Plataformas de Desenvolvimento

A escolha do microcontrolador é central para qualquer projeto de automação. Para um sistema de irrigação residencial conectado, fatores como capacidade de processamento, conectividade Wi-Fi, número de portas de entrada/saída (I/O), consumo de energia e facilidade de programação são cruciais. Analisamos o NodeMCU v3 Lolin (baseado no ESP8266) em comparação com alternativas populares e recentes.

Característica	NodeMCU v3 (ESP8266)	ESP32-DevKitC (ESP32)	Raspberry Pi Pico W
Processador	Tensilica L106 32-bit @80MHz	Dual-core Tensilica LX6 @240MHz	Dual-core ARM Cortex-M0+ @133MHz
Memória Flash	4 MB	4 MB - 16 MB	2 MB
Memória RAM	~50 KB (utilizável)	~520 KB SRAM	264 KB SRAM
Wi-Fi Integrado	Sim (802.11 b/g/n)	Sim (802.11 b/g/n)	Sim (802.11 b/g/n)
Bluetooth Integrado	Não	Sim (BLE, Classic)	Não (Pico W sim, Pico não)
Pinos Digitais I/O	~10	~34	~26

Característica	NodeMCU v3 (ESP8266)	ESP32-DevKitC (ESP32)	Raspberry Pi Pico W
Entradas Analógicas (ADC)	1 (10-bit)	Até 18 (12-bit)	3 (12-bit)
Interfaces Comuns	SPI, I2C, UART	SPI, I2C, UART, CAN, I2S	SPI, I2C, UART, PIO
Consumo de Energia	Médio	Médio (variável, modos deep sleep)	Baixo
IDE Principal / Linguagem	Arduino IDE (C++), MicroPython	Arduino IDE (C++), MicroPython, ESP-IDF	MicroPython, C/C++ SDK, Arduino IDE (via core)
Custo Relativo	Baixo	Baixo a Médio	Muito Baixo
Comunidade / Documentação	Muito Alta	Muito Alta	Alta (crescente)

*Informações retiradas das datasheets das respectivas fabricantes (Espressif Systems e Raspberry Pi Foundation)

O NodeMCU (ESP8266) é uma excelente escolha para projetos de IoT de entrada, como o sistema de irrigação proposto, devido ao seu baixo custo, Wi-Fi integrado e vasta comunidade, facilitando o desenvolvimento com a Arduino IDE. Sua principal limitação para projetos mais complexos é a única entrada analógica e menor poder de processamento.

O ESP32, seu sucessor natural, oferece um upgrade robusto com mais poder de processamento, I/O expandido, múltiplas entradas analógicas de maior resolução e Bluetooth integrado, ideal para futuras expansões com funcionalidades complexas, como interfaces web ou controle sofisticado, a um custo relativamente superior e com consumo de energia otimizável, porém com um pouco menos informações sobre e praticidade ao uso de iniciantes, por não ser uma opção de entrada. Outra opção interessante é o Raspberry Pi Pico W, um microcontrolador ARM de baixo custo com Wi-Fi, que se destaca pelo baixo consumo, seu exclusivo PIO (Programmable I/O) e o apelo da programação em MicroPython, sendo uma escolha viável para quem busca um ecossistema diferente e tarefas específicas. Concluindo, para um protótipo inicial focado em custo e simplicidade, o NodeMCU (ESP8266) é adequado; contudo, para maior flexibilidade, robustez e potencial de expansão no projeto, o ESP32 representa a recomendação de ponta mais equilibrada e acessível.

6.3 Sensores de Umidade do solo

A medição precisa da umidade do solo é vital para a eficiência da irrigação. O sensor resistivo (comumente usando o comparador LM393) é uma opção de entrada, mas sensores capacitivos e outras tecnologias oferecem melhorias significativas.

Característica	Sensor Resistivo (Sonda + LM393)	Sensor Capacitivo (v1.2 ou similar)	Sensor FDR (Ex: SoilWatch 10)
Princípio de Medição	Condutividade elétrica	Variação da constante dielétrica	Reflectometria no Domínio da Frequência
Precisão	Baixa a Média	Média a Alta	Alta a Muito Alta
Durabilidade	Baixa (corrosão dos eletrodos)	Média (eletrodos protegidos)	Muito Alta
Estabilidade Leitura	Baixa (afetada por sais, temp.)	Média a Alta	Alta
Facilidade de Uso	Média (requer calibração)	Média (calibração recomendada)	Alta (após calibração inicial)
Custo Relativo	Muito Baixo	Baixo	Alto

O Sensor Resistivo (LM393) é a opção mais barata e simples para iniciantes. Contudo, sua precisão é levemente limitada e os eletrodos sofrem corrosão rapidamente, especialmente em solos constantemente úmidos, alterando as leituras ao longo do tempo e exigindo substituições frequentes. O Sensor Capacitivo representa um avanço significativo em relação ao resistivo. Por não expor os eletrodos diretamente ao solo, é muito menos suscetível à corrosão, oferecendo leituras mais estáveis e maior durabilidade. Seu custo é superior, mas o benefício em confiabilidade geralmente compensa para aplicações de médio a longo prazo em jardins. Sensores FDR (Frequency Domain Reflectometry), como o SoilWatch 10 (ou TDR como o TDR-315L), são tecnologias de ponta usadas em pesquisa e agricultura de precisão. Eles medem o conteúdo volumétrico de água (VWC) com alta precisão e são muito duráveis. No entanto, seu custo é extremamente alto, tornando-os inviáveis para projetos de jardins residenciais de baixo custo.

Enquanto o sensor resistivo LM393 pode ser usado para uma prova de conceito inicial devido ao custo, pois o objetivo principal deste projeto é ser algo aplicável e acessível, pode ser considerada uma migração depois de um certo período para um Sensor Capacitivo.

6.4 Sensores de Temperatura e Umidade do Ar

Monitorar a temperatura e umidade do ar pode ajudar a estimar a evapotranspiração e ajustar a irrigação, além de fornecer dados contextuais sobre o ambiente do jardim.

Característica	DHT22 (AM2302)	Bosch BME280	Sensirion SHT31-D
Variáveis Medidas	Temp., Umidade	Temp., Umidade, Pressão Barom.	Temp., Umidade

Precisão Temperatura	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ a $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$
Precisão Umidade	$\pm 2\text{-}5\% \text{ RH}$	$\pm 3\% \text{ RH}$	$\pm 1.5\%$ a $\pm 2\% \text{ RH}$
Estabilidade/Drift	Média	Boa	Alta
Interface	Digital (1-Wire custom)	I2C / SPI	I2C
Tensão de Operação	3.3V - 5.5V	1.71V - 3.6V (sensor)	2.15V - 5.5V
Consumo de Energia	Médio durante leitura	Baixo	Muito Baixo
Custo Relativo	Baixo	Baixo a Médio	Médio

*Informações retiradas das datasheets das respectivas fabricantes (Aosong, Bosch Sensortec e Sensirion)

O DHT22 (AM2302) é um sensor popular e de baixo custo, oferecendo precisão razoável e suficiente para muitas aplicações, incluindo o monitoramento ambiental em jardins. Sua interface "1-Wire" customizada é amplamente suportada por bibliotecas.

O Bosch BME280 é um sensor muito conceituado que, além de temperatura e umidade, mede pressão barométrica, o que pode ser útil para análises meteorológicas mais detalhadas. Sua precisão é comparável ou ligeiramente superior à do DHT22 para temperatura e umidade, com boa estabilidade e interfaces I2C/SPI padrão, porém acaba tendo sua relação custo/benefício prejudicada por conta do seu elevado custo.

Os sensores da Sensirion, como o SHT31-D (ou o mais novo SHT40), são considerados referências em termos de precisão e estabilidade para medição de temperatura e umidade. Eles geralmente oferecem a menor margem de erro e menor drift ao longo do tempo, sendo ideais para aplicações que exigem dados ambientais confiáveis e de alta qualidade, tendo também o mais alto dos preços.

O DHT22 é uma escolha inicial aceitável e econômica. Para maior precisão, estabilidade e a adição da medição de pressão, o BME280 oferece um upgrade. Se a máxima precisão em temperatura e umidade for o objetivo principal, um SHT31-D ou SHT40 seria a escolha de ponta, embora com custo um pouco mais elevado. Como o projeto é simples e não requer uma precisão extrema, o DHT22 é o sensor escolhido.

7. Conclusões

A automação de sistemas de irrigação representa uma solução promissora e viável para o uso racional da água em ambientes residenciais, unindo sustentabilidade, praticidade e eficiência. A análise realizada ao longo deste trabalho permitiu identificar tecnologias acessíveis, confiáveis e adequadas ao contexto doméstico, com destaque para o microcontrolador NodeMCU v3 (ESP8266), o sensor de umidade do solo LM393 e o sensor

de temperatura e umidade DHT22. Embora existam opções mais avançadas e precisas, a escolha desses componentes equilibra simplicidade, custo-benefício e funcionalidade, atendendo bem aos objetivos de um projeto inicial.

Além de proporcionar economia de recursos naturais e tempo, o sistema proposto tem potencial para evoluir conforme novas demandas e possibilidades técnicas surgirem, permitindo a substituição ou complementação de sensores e controladores conforme o orçamento e o nível de sofisticação desejados. Este estudo, portanto, não apenas fundamenta a escolha dos elementos centrais para o desenvolvimento do sistema de irrigação automatizado com bomba d'água, como também estabelece uma base sólida para futuras melhorias, reafirmando o papel da tecnologia como aliada essencial na construção de práticas mais sustentáveis no cotidiano.

8. Referências Bibliográficas

BORGES, T. S. SISTEMA PARA AUTOMAÇÃO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO DE BAIXO CUSTO. Artigo—IFSertãoPE: [s.n.].

Espressif Systems. (2025). *ESP32 Series Datasheet*. [Disponível em: <https://www.espressif.com/>]

Bosch Sensortec. (2025). *BME280 Datasheet*. [Disponível em:

Sensirion AG. (2025). *SHT3x-DIS Datasheet*. [Disponível em: