



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GIA DE GOIÁS - IFG
CAMPUS FORMOSA
TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

DERECK BRIAN SOUSA DE ARAUJO

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA
LIMPEZA E MANUTENÇÃO DE PISCINAS**

DERECK BRIAN SOUSA DE ARAUJO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LIMPEZA E
MANUTENÇÃO DE PISCINAS

Orientador: Prof. M° Afrânio Furtado de
Oliveira Neto

RESUMO

A crescente aplicação de tecnologias de automação em ambientes residenciais tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas voltados à otimização de tarefas cotidianas. Neste contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema automatizado para limpeza e manutenção de piscinas residenciais, fundamentado em princípios de automação residencial e na Internet das Coisas (IoT).

sistema integra sensores, atuadores e controladores microprocessados com o objetivo de realizar o monitoramento e o tratamento automatizado da água, reduzindo a necessidade de intervenção manual.

A proposta busca oferecer maior eficiência no uso de recursos, segurança na manipulação de produtos químicos e sustentabilidade no consumo de água e energia. A pesquisa abrangeu a revisão de normas técnicas, o estudo dos componentes mecânicos e eletrônicos empregados, bem como o desenvolvimento de um protótipo funcional.

Os resultados obtidos demonstram que a automação do processo de limpeza e tratamento de piscinas é viável e pode minimizar falhas humanas, otimizar o tempo de manutenção e garantir padrões adequados de qualidade da água. O sistema desenvolvido apresenta-se, portanto, como uma solução prática e acessível, alinhada às tendências tecnológicas de domótica e automação inteligente.

Palavras-chave: Automação residencial. IoT. Piscinas residenciais. Manutenção automatizada.

ABSTRACT

The growing application of automation technologies in residential environments has driven the development of systems aimed at optimizing everyday tasks. In this context, this work proposes the development of an automated system for the cleaning and maintenance of residential swimming pools, based on home automation principles and the Internet of Things (IoT).

The system integrates sensors, actuators, and microprocessed controllers to perform automated water monitoring and treatment, reducing the need for manual intervention.

The proposal seeks to improve resource efficiency, ensure safety in handling chemical products, and promote sustainability in water and energy consumption. The research included the review of technical standards, the study of mechanical and electronic components, and the development of a functional prototype.

The results demonstrated that automating the cleaning and treatment process of swimming pools is feasible and can minimize human errors, optimize maintenance time, and ensure appropriate water quality standards. Therefore, the developed system presents itself as a practical and accessible solution aligned with current trends in domotics and smart automation.

Keywords: Home automation. IoT. Residential swimming pools. Automated maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Primeiro registro histórico de piscina – “Grandes Banhos de Mohenjodaro”.	13
Figura 2 – Componentes estruturais básicos de uma piscina.	14
Figura 3 – Principais acessórios utilizados na limpeza física de piscinas.	15
Figura 4 – Faixa de pH	16
Figura 5 – Estojo para Análise de Parâmetros Químicos da Água	20
Figura 6 – Arquitetura centralizada de automação residencial	23
Figura 7 – Arquitetura descentralizada de automação residencial	24
Figura 8 – Placa Arduino Uno com pinos digitais e analógicos	27
Figura 9 – Raspberry Pi Modelo B+	27
Figura 10 – Bomba de água utilizada como atuador no sistema	29
Figura 11 – Diagrama de Caso de Uso do Sistema	37
Figura 12 – Sensor de Temperatura MF58 (NTC 10K)	38
Figura 13 – Sensor de Nível LC26M-40	39
Figura 14 – Sensor de Nível LC26M-40	40
Figura 15 – Sensor de Nível LC26M-40	41
Figura 16 – Bomba Submersa JT100	42
Figura 17 – Placa Arduino Uno R3	43
Figura 18 – <i>Raspberry Pi 3 Model B</i>	44
Figura 19 – Trecho de código do Arduino: Leitura de sensores e controle	46
Figura 20 – Script Python no Raspberry Pi: Envio de dados via HTTP	47
Figura 21 – Controller Spring Boot: Recepção de dados e endpoints de controle	48
Figura 22 – Componente React: Consumo de API e controle de estado	49
Figura 23 – Componente React: Consumo de API e controle de estado	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre o sistema desenvolvido e trabalhos correlatos	11
Tabela 2 – Tabela de Dosagem de Produtos Químicos	19
Tabela 3 – Evolução das tecnologias de automação residencial ao longo dos anos. .	22
Tabela 4 – Requisitos Funcionais do Sistema de Automação de Piscinas.	35
Tabela 5 – Requisitos Não Funcionais do Sistema de Automação de Piscinas.	36
Tabela 6 – Resumo das Especificações Técnicas dos Componentes de Hardware. .	45
Tabela 7 – Resumo dos Testes Realizados e Resultados Obtidos.	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Objetivo Geral	9
1.2	Objetivos Específicos	9
1.3	TRABALHOS CORRELATOS	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1	PISCINAS E SUA MANUTENÇÃO	12
2.1.1	HISTÓRICO E POPULARIZAÇÃO DAS PISCINAS	12
2.1.2	COMPONENTES BÁSICOS DE UMA PISCINA	13
2.1.3	NORMAS E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DE LIMPEZA MANUAL	15
2.1.4	PRODUTOS QUÍMICOS E ACESSÓRIOS USADOS NA LIMPEZA DE PISCINAS	18
2.2	FUNDAMENTOS DA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	20
2.2.1	HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	22
2.2.2	CONCEITOS TÉCNICOS DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL	23
2.2.2.1	COMPONENTES BÁSICOS	24
2.3	FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA AUTOMAÇÃO	25
2.3.1	COMPONENTES FÍSICOS E DE CONTROLE (HARDWARE)	26
2.3.2	FERRAMENTAS DE SOFTWARE E METODOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO	29
3	DESENVOLVIMENTO	33
3.1	Tipo de Pesquisa e Etapas de Construção	33
3.2	Processo de Desenvolvimento de Software	33
3.3	Fase de Concepção (<i>Inception</i>)	34
3.4	Fase de Elaboração (<i>Elaboration</i>)	36
3.5	Fase de Construção (<i>Construction</i>)	45
3.6	Fase de Transição (<i>Transition</i>)	50
4	RESULTADOS	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico consolidou a automação como elemento essencial na otimização de processos produtivos. Desde a Primeira Revolução Industrial, no século XVIII, esse conceito evoluiu até o paradigma contemporâneo da Indústria 4.0, caracterizado pela integração entre sistemas ciberfísicos, sensoriamento inteligente e soluções digitais [Genyo \(2024\)](#). A relevância desse movimento é evidenciada por dados da Confederação Nacional da Indústria, segundo os quais 72% das empresas que implementaram tecnologias digitais registraram aumento de produtividade, enquanto 60% reduziram custos operacionais [CNI \(2022\)](#). A expansão desse cenário repercutiu no ambiente doméstico, onde dispositivos conectados, assistentes virtuais e sistemas inteligentes vêm ampliando o conceito de automação residencial. O setor apresenta crescimento expressivo: no Brasil, a automação residencial avançou 21,8% entre 2023 e 2024 [Report \(2024\)](#), e projeções globais estimam crescimento médio anual de 27,9% até 2032 [Elétrico \(2023\)](#). Dentro dessa perspectiva de expansão tecnológica, torna-se pertinente examinar áreas específicas do ambiente doméstico que permanecem fortemente dependentes de processos manuais, como a limpeza e a manutenção de piscinas.

Embora a automação residencial se consolide em diversos domínios, a manutenção de piscinas residenciais ainda é majoritariamente manual, exigindo do usuário conhecimento sobre parâmetros físico-químicos da água, dosagens de produtos, cálculo de volume e identificação visual de anomalias [Pool News \(2020\)](#). Essas atividades, quando executadas sem precisão, podem gerar desperdício de água e energia, uso inadequado de substâncias químicas e custos elevados de manutenção. Além disso, falhas na dosagem ou na análise dos parâmetros podem comprometer a saúde dos usuários e o desempenho dos equipamentos [Lavor \(2019\)](#). Nesse contexto, formula-se o seguinte problema de pesquisa: como desenvolver um sistema automatizado capaz de realizar a limpeza e a manutenção de piscinas residenciais, reduzindo a intervenção manual e promovendo eficiência, segurança e sustentabilidade no processo?

A partir desse questionamento, estabelece-se a seguinte hipótese central: a integração entre sensores, atuadores e controladores microprocessados, associados a tecnologias de automação e Internet das Coisas (IoT), possibilita monitorar parâmetros essenciais da água, como pH, temperatura, turbidez, nível e acionar automaticamente equipamentos de tratamento, garantindo maior precisão na manutenção e minimizando erros humanos. Presume-se, portanto, que um sistema automatizado possa otimizar recursos, aprimorar a qualidade da água e assegurar um processo contínuo e confiável. Se confirmada, essa hipótese reforça a necessidade de investigar sua aplicabilidade técnica, econômica e operacional.

A justificativa para o desenvolvimento deste estudo fundamenta-se em três dimensões complementares. A dimensão social envolve a necessidade de preservar a saúde do usuário, considerando que procedimentos inadequados de tratamento da água podem gerar riscos sanitários. A dimensão ambiental relaciona-se ao uso racional de água e energia, uma vez que a automação tende a reduzir ciclos excessivos de filtragem e dosagens inadequadas de produtos químicos. Já a dimensão tecnológica evidencia uma lacuna no campo acadêmico: apesar do crescimento da automação residencial, há poucos estudos voltados especificamente à manutenção automatizada de piscinas, tema que permanece subexplorado tanto no cenário nacional quanto internacional. Assim, justificam-se os esforços em desenvolver e avaliar um sistema que integre automação, IoT e métodos de controle aplicados a esse contexto.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema automatizado para limpeza e manutenção de piscinas residenciais, com capacidade de reduzir a intervenção manual, otimizar o uso de produtos químicos e promover economia de água e energia, integrando sensores, atuadores e dispositivos IoT ao processo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Minimizar erros operacionais durante o processo de limpeza por meio de automação e controle preciso de dosagem química.
- Proporcionar maior praticidade e segurança nas etapas de limpeza e monitoramento da piscina.
- Implementar a automação dos processos de filtragem, aquecimento, medição de pH, verificação de temperatura e análise de turbidez da água.
- Reduzir a dependência de serviços terceirizados de manutenção por meio da automação residencial inteligente.
- Projetar e testar um módulo de monitoramento de pH com sensores IoT integrados ao sistema de controle.
- Desenvolver e implementar um algoritmo de acionamento automático da bomba de filtragem com base nas variáveis de qualidade da água.

1.3 TRABALHOS CORRELATOS

Durante a pesquisa bibliográfica, foram identificados diferentes tipos de trabalhos, com diferentes propostas tecnológicas, variando desde acionamentos via temporizadores

até sistemas baseados em controladores lógicos industriais. A seguir, serão apresentadas essas diferentes abordagens para fins comparativos.

Uma das abordagens iniciais encontradas foi a de Campos (2014), que desenvolveu um sistema de automação residencial amplo utilizando a plataforma Arduino. No projeto, a piscina é tratada como um subsistema, onde o controle da filtragem é realizado apenas por agendamento temporal (*timer*), sem a leitura de parâmetros da qualidade da água. O sistema foca na integração de diversos ambientes, mas carece de uma atuação específica e inteligente sobre o tratamento químico da piscina com a utilização de sensores.

Com o foco voltado para o controle de parâmetros químicos, Brandão e Rocha (2018) propuseram o desenvolvimento de um sistema de malha fechada utilizando Arduino Uno para o controle de pH e desinfecção. O diferencial deste trabalho foi a utilização de um sensor de ORP (*Oxidation Reduction Potential*) para estimar a concentração de cloro livre, além do sensor de pH. O sistema atua através de bombas dosadoras peristálticas. Entretanto, a interface com o usuário é restrita a um display LCD local, sem recursos de conectividade ou monitoramento remoto via Internet.

Na mesma linha de automação com o foco em química, Boeira (2019) desenvolveu o protótipo "Autopool" utilizando um Arduino Mega. O projeto integra sensores de pH, nível e chuva, acionando bombas de para-brisa adaptadas para a dosagem de produtos (cloro, elevador e redutor de pH). Um ponto de destaque neste trabalho é a inclusão de um sistema de segurança com sensor de movimento para prevenir afogamentos. Contudo, assim como o trabalho anterior, o sistema opera de forma isolada (*offline*), dependendo de uma interface física (teclado e display) para configuração, e não realiza o monitoramento da turbidez da água para automação da filtragem física.

Um projeto mais recentemente, desenvolvido pelo Oliveira et al. (2023) que propõe a automação de uma área de lazer utilizando o microcontrolador ESP32¹. Este trabalho, tem como foco o acionamento remoto de bombas e iluminação via Wi-Fi e no dimensionamento robusto da infraestrutura elétrica. Contudo, o sistema opera majoritariamente como um controle remoto digital, dependendo do usuário para decidir o momento de filtragem da água, uma vez que não possui sensores para monitorar a qualidade da água.

Em contraste com os trabalhos citados, a solução desenvolvida nesta pesquisa se diferencia por implementar um ciclo de automação fechado (*closed-loop*) integrado à Internet das Coisas (IoT). Enquanto Campos (2014) e Oliveira et al. (2023) focam no agendamento ou acionamento remoto, e Brandão e Rocha (2018) e Boeira (2019) focam no equilíbrio químico local, o presente sistema utiliza sensores de pH e turbidez para tomar decisões autônomas tanto sobre o tratamento químico quanto físico (filtragem), disponibilizando dados históricos e gestão via interface Web.

¹ é um microcontrolador de baixo custo e baixo consumo, criado para projetos de Internet das Coisas (IoT) e automação, destacando-se por ter Wi-Fi e Bluetooth integrados,

A Tabela 1 sintetiza a comparação entre os trabalhos analisados e a proposta deste TCC.

Tabela 1 – Comparativo entre o sistema desenvolvido e trabalhos correlatos

Trabalho	Abordagem Principal	Diferencial do Presente Trabalho (Vantagens)	Limitações frente ao Correlato
Campos (2014)	Automação residencial geral. Controle da piscina por <i>timer</i> .	Tomada de decisão baseada em sensores (pH e Turbidez) e não apenas tempo.	O correlato possui escopo mais amplo (integra portão, luzes da casa, etc).
Brandão e Rocha (2018)	Controle químico (pH e ORP) em malha fechada com Arduino.	Monitoramento de Turbidez para limpeza física e conectividade IoT (Web) para histórico.	O correlato utiliza sensor de ORP para leitura de cloro, parâmetro não abordado neste trabalho.
Boeira (2019)	Dosagem química automatizada e sistema de alarme de segurança.	Interface Web para gestão remota e sensor de turbidez para controle do filtro.	O correlato possui sistema de segurança contra afogamentos.
Sulimann e Haupt (2014)	Automação industrial com CLP, aquecimento e ionização.	Baixo custo de implementação (Open Hardware) e facilidade de integração IoT.	O correlato apresenta maior robustez industrial e controle de temperatura.
Oliveira et al. (2023)	Acionamento remoto via Wi-Fi (ESP32) e infraestrutura elétrica.	Autonomia do sistema (não depende do usuário para ligar) baseada em dados analíticos.	O correlato foca no dimensionamento elétrico de potência (contatores).
Este Trabalho	Sistema IoT completo com monitoramento de pH e Turbidez e interface Web.	Integração entre sensoriamento físico-químico, lógica autônoma e gestão remota de dados.	Validação em escala de protótipo, necessitando adaptações para altas potências.

Fonte: Autoria própria (2025).

Dessa forma, observa-se que existe uma lacuna no que tange a sistemas de baixo custo capazes de realizar o monitoramento analítico da turbidez e pH simultaneamente, atuando de forma autônoma e conectada, lacuna esta que o presente projeto visa preencher.

Com base nessa contextualização, observa-se que a automação aplicada à manutenção de piscinas representa um campo em expansão, mas ainda pouco explorado academicamente. Para sustentar a proposta apresentada, o próximo capítulo reúne os fundamentos teóricos sobre piscinas e seus métodos tradicionais de tratamento, os princípios da automação residencial, as tecnologias empregadas em sistemas automatizados e os componentes necessários para integrar sensores e controladores inteligentes. Essa fundamentação constitui o embasamento conceitual indispensável para compreender as etapas metodológicas e o desenvolvimento do sistema proposto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos conceituais e técnicos que sustentam o desenvolvimento do sistema automatizado proposto. Inicialmente, descrevem-se os aspectos estruturais e os procedimentos de manutenção de piscinas, com ênfase nas práticas e parâmetros que orientam a qualidade da água. Em seguida, são expostos os princípios da automação residencial, os componentes e protocolos relevantes à integração de sensores e controladores, e, por fim, as ferramentas de hardware e software empregadas no projeto. A seleção e a organização dos tópicos procuram estabelecer a base teórica necessária para justificar escolhas de projeto e para interpretar os resultados apresentados nos capítulos subsequentes.

2.1 PISCINAS E SUA MANUTENÇÃO

A compreensão da automação aplicada à manutenção de piscinas exige o entendimento prévio de sua estrutura física, de seu funcionamento hidráulico e dos métodos tradicionais utilizados para preservar a qualidade da água. Esses elementos formam a base sobre a qual se fundamentam as etapas de monitoramento e controle automatizado, permitindo identificar quais parâmetros são passíveis de coleta e quais processos podem ser otimizados com o uso de sensores e atuadores. Para isso, esta seção apresenta um panorama histórico das piscinas, descreve seus componentes estruturais e discute os procedimentos manuais de limpeza (físicos e químicos) que orientam a manutenção convencional. A partir dessa exposição, evidenciam-se as limitações dos métodos tradicionais e a necessidade de soluções automatizadas.

2.1.1 HISTÓRICO E POPULARIZAÇÃO DAS PISCINAS

O termo piscina deriva do latim *piscis*, utilizado para designar reservatórios destinados à recreação, natação, rituais ou uso coletivo [Piscinas \(2025\)](#). Existem registros de tanques de banho que remontam a aproximadamente 2600 a.C., como os “Grandes Banhos de Mohenjodaro”, cuja função possivelmente se relacionava a práticas ceremoniais. Conforme ilustrado na [Figura 1](#), trata-se de uma das primeiras estruturas documentadas que apresentam características semelhantes às piscinas contemporâneas. Ao longo dos séculos, diferentes civilizações desenvolveram estruturas semelhantes, adaptadas a necessidades sociais, culturais e recreativas.

Com o avanço tecnológico do século XX, o uso de materiais como gunite (mistura de cimento, areia e água) e a incorporação de sistemas de filtração e cloração possibilitaram a manutenção contínua da água, sem necessidade de esvaziamento recorrente [Fibratec \(2021\)](#).

Tais inovações contribuíram para a popularização das piscinas residenciais e demandaram o desenvolvimento de práticas de manutenção física e química, que servem de referência para os sistemas automatizados contemporâneos.

Figura 1 – Primeiro registro histórico de piscina – “Grandes Banhos de Mohenjodaro”.



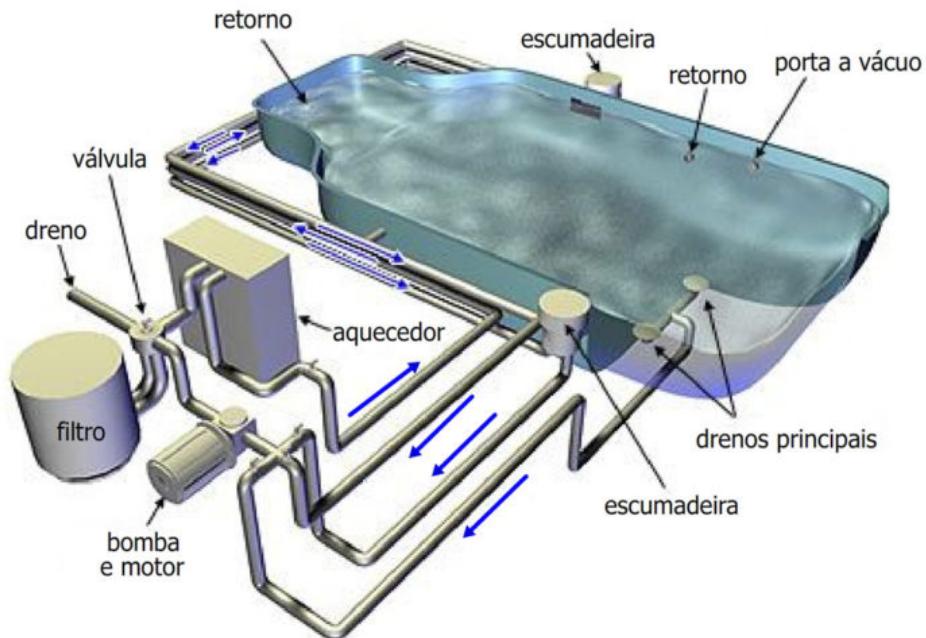
Fonte: ([FIBRATEC, 2021](#)).

A seguir, apresentam-se os principais componentes estruturais que permitem o funcionamento de uma piscina moderna e que, futuramente, serão integrados à automação.

2.1.2 COMPONENTES BÁSICOS DE UMA PISCINA

Segundo [Harris \(2025\)](#), as piscinas residenciais e públicas, apesar das diferenças de tipologia e porte, compartilham um conjunto de elementos funcionais que garantem a circulação, filtragem e tratamento da água. Esses componentes formam a estrutura hidráulica básica que permite a manutenção contínua da qualidade da água e o correto funcionamento de dispositivos auxiliares. A [Figura 2](#) apresenta uma visão geral desses elementos estruturais, destacando a bomba, o filtro, os drenos, as tubulações e os pontos de retorno, que compõem o ciclo de movimentação e purificação do volume total da piscina.

Figura 2 – Componentes estruturais básicos de uma piscina.



Fonte: ([HARRIS, 2025](#)).

A bomba motorizada cumpre a função central de impulsionar a água pelo sistema, enviando-a para as etapas de filtração e tratamento químico. Já o filtro, geralmente preenchido com areia ou elementos sintéticos, remove partículas sólidas, como poeira, folhas e microrganismos, garantindo maior transparência à água. Os drenos e skimmers são responsáveis pela coleta inicial da água, enquanto as tubulações de *PVC*¹ interligam todos os elementos hidráulicos, assegurando o fluxo contínuo. Em algumas configurações, incluem-se ainda aquecedores que regulam a temperatura da água, agregando conforto ao uso recreativo.

Além desses elementos fixos, a manutenção cotidiana envolve equipamentos manuais destinados à limpeza física da piscina. A Figura 3 reúne os principais acessórios utilizados nesse processo, como o aspirador de escova, a peneira, a escova de parede e o cabo telescópico, que permite alcançar regiões de difícil acesso. Segundo [Benedito et al. \(2024\)](#), esses instrumentos são indispensáveis para remover resíduos decantados, partículas flutuantes e biofilmes aderidos às paredes da piscina, constituindo o primeiro nível de intervenção antes do tratamento químico.

¹ Sigla para Poli(cloreto de vinila), um polímero termoplástico versátil, conhecido por sua durabilidade, resistência química e ampla utilização em tubos, conexões e revestimentos.

Figura 3 – Principais acessórios utilizados na limpeza física de piscinas.



Fonte: Adaptado de (BENEDITO et al., 2024).

A compreensão desses componentes, tanto estruturais quanto acessórios, é fundamental para o desenvolvimento de sistemas automatizados, uma vez que muitos dos processos realizados manualmente, como circulação, remoção de impurezas e monitoramento da qualidade da água, podem ser otimizados por meio de sensores, atuadores e controladores eletrônicos, tema aprofundado nos tópicos subsequentes.

2.1.3 NORMAS E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DE LIMPEZA MANUAL

A manutenção adequada de uma piscina não depende apenas dos equipamentos estruturais apresentados na seção anterior, mas também da aplicação criteriosa de normas e procedimentos técnicos que asseguram a qualidade sanitária da água. Conforme destaca Ideia (2025), a ausência de práticas corretas de limpeza pode resultar em diversos problemas de saúde, como dermatites, micoses e outras infecções, o que reforça a importância de um tratamento contínuo e devidamente monitorado. Para prevenir tais riscos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece parâmetros essenciais que orientam o controle físico e químico da água.

Diversos poluentes influenciam diretamente esses parâmetros, incluindo suor, urina, cabelos, óleos naturais da pele, insetos, folhas e formação de algas, conforme observa Atcllor (2021). Esses elementos alteram, sobretudo, o pH da água e a concentração de cloro, variáveis fundamentais para garantir segurança aos usuários. Segundo Leite (2020), o pH é um indicador que expressa a acidez ou alcalinidade do fluido, variando entre valores menores que 7 (ácidos) e maiores que 7 (alcalinos). A Figura 4 apresenta a

faixa recomendada para piscinas, entre 7,2 e 7,8, parâmetro indispensável para prevenir irritações e preservar a integridade dos equipamentos.

Figura 4 – Faixa de pH



Fonte: ([ATCLLLOR, 2021](#))

Embora a limpeza física, obtida por escovas, redes ou aspiradores, remova apenas impurezas visíveis, ela é insuficiente para eliminar substâncias dissolvidas, como suor, urina e óleos, que permanecem em suspensão ou solução e ultrapassam a capacidade de retenção dos filtros [Atclllor \(2021\)](#). Por esse motivo, a manutenção adequada deve integrar procedimentos químicos eficazes, de modo a combater microrganismos e restabelecer o equilíbrio da água.

Além disso, uma piscina considerada limpa precisa atender a critérios objetivos, como a ausência de bactérias do grupo coliforme ou *Staphylococcus aureus*², boa visibilidade do fundo e superfície livre de sujeiras, conforme determinado por [Atclllor \(2021\)](#) e pelas normas sanitárias vigentes. Esses requisitos reforçam que a manutenção envolve mais do que a aparência da água, exigindo uma análise sistemática dos parâmetros fisicoquímicos.

A determinação da quantidade de produtos necessários para o tratamento também depende do conhecimento da área e do volume da piscina, que variam de acordo com seu formato geométrico. Como apresentado nas equações desta seção, diferentes fórmulas são aplicadas em piscinas retangulares, circulares ou ovais, incluindo casos em que o fundo é inclinado, nos quais se considera a profundidade média. Esses cálculos garantem precisão na dosagem e evitam desperdícios, além de evitar desequilíbrios químicos que comprometeriam o processo de desinfecção. O dimensionamento da piscina é fundamental para determinar a quantidade adequada de produtos químicos e garantir uma higienização eficiente, sem excessos ou falhas de tratamento. O cálculo da área e do volume varia conforme o formato da piscina, sendo possível aplicar diferentes fórmulas geométricas para cada tipo de estrutura.

² Bactéria coco Gram-positiva, frequentemente encontrada na pele e nas fossas nasais humanas, responsável por infecções de gravidade variável.

Piscina Retangular

$$A = \text{comprimento} \times \text{largura}$$

$$V = \text{comprimento} \times \text{largura} \times \text{profundidade}$$

Piscina Circular

$$A = \pi r^2$$

$$V = \pi r^2 h$$

Piscina Oval (Elíptica)

$$A = \pi \cdot \frac{a}{2} \cdot \frac{b}{2}$$

$$V = A \cdot h$$

Nos casos em que a piscina possui fundo inclinado, a profundidade considerada deve ser a média entre a parte mais rasa e a mais funda:

$$h_m = \frac{h_{\text{maior}} + h_{\text{menor}}}{2}$$

Com o volume da piscina devidamente determinado, é possível avançar para as etapas que compõem o tratamento químico da água. Segundo Silva (2021) , o tratamento completo da água segue uma sequência de cinco etapas, oxidação, coagulação e floculação, decantação, filtração e correção do pH, semelhante aos processos utilizados em estações industriais de tratamento de água. Na oxidação, adiciona-se cloro para eliminar matéria orgânica e facilitar a remoção de metais como ferro e manganês. Em seguida, agentes coagulantes, como sulfato de alumínio ou cloreto férreo, desestabilizam partículas suspensas, que posteriormente se agrupam durante a fase de floculação. A decantação deposita essas partículas no fundo da piscina; após isso, o filtro retém as impurezas acumuladas. Por fim, realiza-se a correção do pH, garantindo estabilidade química e prevenindo tanto a corrosão das tubulações quanto danos aos usuários.

Entretanto, a execução manual dessas etapas está sujeita a falhas operacionais que comprometem a eficácia teórica do processo. Segundo Ltda (2004), a aplicação de produtos químicos sem a devida precisão frequentemente resulta em sobredosagem ou uso incorreto, gerando efeitos adversos. O excesso de algicidas, por exemplo, pode provocar espuma na superfície, enquanto o uso inadequado de decantadores à base de sulfato de alumínio pode deixar resíduos em suspensão, turvando a água. Um risco ainda mais crítico

é a mistura accidental ou proposital de compostos incompatíveis, que pode provocar reações químicas extremas durante o manuseio.

Essas falhas no equilíbrio químico impactam diretamente o conforto dos usuários e a integridade da infraestrutura. A falta de controle rigoroso do pH gera desconforto imediato: valores abaixo de 7,2 causam irritação e aceleram a corrosão de equipamentos. Por outro lado, o pH acima de 7,8 reduz drasticamente a eficiência da desinfecção e favorece incrustações nas tubulações. Adicionalmente, a dosagem desbalanceada de oxidantes pode gerar subprodutos irritantes, responsáveis por odores fortes, frequentemente confundidos com excesso de produto.

No âmbito sanitário, a intermitência característica do tratamento manual cria janelas de contaminação. A ineficiência nos ciclos de filtragem e circulação, somada ao desequilíbrio químico, permite a proliferação de microrganismos e o aumento do risco de transmissão de doenças. Por fim, a imprecisão acarreta problemas estéticos, como a turbidez gerada pelo rápido desenvolvimento de algas ou alterações na cor da água devido à reação incorreta de produtos com metais presentes no tanque.

Diante da complexidade e dos riscos apresentados pela manipulação incorreta, torna-se indispensável o conhecimento aprofundado dos insumos utilizados. A seção a seguir detalha os produtos químicos e acessórios empregados na limpeza, abordados na [subseção 2.1.4](#), cujas características fundamentam as decisões de automação do sistema proposto.

2.1.4 PRODUTOS QUÍMICOS E ACESSÓRIOS USADOS NA LIMPEZA DE PISCINAS

O tratamento adequado e corretamente executado durante a limpeza de uma piscina, tanto físico quanto químico, é essencial para assegurar a qualidade da água e prevenir infecções ou doenças de origem hídrica. Dessa forma, é fundamental compreender quais produtos utilizar, como aplicá-los corretamente e qual o método mais eficiente para a realização do tratamento físico.

A manutenção química da água depende da correta escolha, dosagem e aplicação de produtos destinados ao controle dos parâmetros físico-químicos. Segundo [Atcllor \(2021\)](#), esses produtos atuam no ajuste do pH, na estabilização da alcalinidade, na desinfecção da água e na remoção de partículas e metais dissolvidos. A [Tabela 2](#) apresenta uma tabela de dosagem que orienta a aplicação dos principais agentes químicos utilizados na rotina de manutenção.

Tabela 2 – Tabela de Dosagem de Produtos Químicos

TABELA DE DOSAGEM	PRODUTO	APLICAÇÃO	DOSAGEM 1.000 Litros	VOLUME PISCINA (LITROS)							
				10	20	30	40	50	60	70	80
AJUSTE	Elevador Alcalinidade (Bicarbonato)	Sempre que Necessário	20 grs	200	400	600	800	1.000	1.200	1.400	1.600
	pH + (Líquido) pH 6.8 – 7.0		15 ml	150	300	450	600	750	900	1.050	1.200
	pH + (Líquido) pH abaixo 6.8		20 ml	200	400	600	800	1.000	1.200	1.400	1.600
	Elevador pH (Barrilha) pH 6.8 – 7.0		10 grs	100	200	300	400	500	600	700	800
	Elevador pH (Barrilha) pH abaixo 6.8		20 grs	200	400	600	800	1.000	1.200	1.400	1.600
	pH- (Líquido)		10 ml	100	200	300	400	500	600	700	800
SANITIZAÇÃO	Cloro Tradicional 65%	2x a 3x Semana	4 grs	40	80	120	160	200	240	280	320
	Dicloro Estabilizado 50% - 55%		4 grs	40	80	120	160	200	240	280	320
	Cloro 3x1/ Multiação 40%- 42%		5 grs	50	100	150	200	250	300	350	400
	Cloro Líquido 12%		100 ml	1 L.	2 L.	3 L.	4 L.	5 L.	6 L.	7 L.	8 L.
CLARIFICAÇÃO DECANTAÇÃO	Clarificante Líquido	1x Semana	4 ml	40	80	120	160	200	240	280	320
	Sulfato de Alumínio		30 grs	300	600	900	1.200	1.500	1.800	2.100	2.400
ÁGUA VERDE OU METAIS	Sulfato de Cobre	1x Semana	2 grs	20	40	60	80	100	120	140	160
	Algicida Manutenção		5 ml	50	100	150	200	250	300	350	400
	Algicida Choque	Sempre que Necessário	7 ml	70	140	210	280	350	420	490	560
	Genquest / Sol. Água Poço		20 ml	200	400	600	800	1.000	1.200	1.400	1.600

Fonte: ([ATCLLLOR, 2021](#)).

Os produtos empregados no tratamento químico incluem:

- **Elevador de alcalinidade:** eleva a alcalinidade total, garantindo estabilidade ao pH.
- **Barrilha e pH+:** utilizados para elevar o pH quando este se encontra abaixo do ideal.
- **Redutor de pH (pH-):** empregados para diminuir o pH quando a água está excessivamente alcalina.
- **Hipoclorito de sódio, cloro, dicloro, multiação:** agentes sanitizantes responsáveis pela desinfecção.
- **Sulfato de alumínio e clarificantes:** agentes de coagulação e decantação.
- **Sulfato de cobre e algicida:** utilizados para combater a proliferação de algas.
- **Removedores de metais (Genquest, solução para água de poço):** eliminam manchamentos causados por íons metálicos.

A aplicação correta desses produtos depende da medição sistemática dos parâmetros da água. Para isso, utilizam-se estojos de análise específicos, capazes de identificar valores

de pH, alcalinidade e teor de cloro. A Figura 5 apresenta um exemplo de estojo de análise utilizado na avaliação da qualidade da água.

Figura 5 – Estojo para Análise de Parâmetros Químicos da Água



Fonte: ([GENCO®](#), 2025).

Os valores obtidos nas análises orientam a escolha dos produtos a serem aplicados. Caso o pH esteja abaixo de 7,0, recomenda-se o uso de barrilha ou elevador de pH. Se a alcalinidade estiver reduzida, utiliza-se o elevador de alcalinidade. Quando o teor de cloro estiver baixo, adiciona-se cloro líquido ou granulado, conforme a dosagem apresentada anteriormente.

A turbidez é um dos principais indicadores da necessidade de tratamento químico. Em situações de água opaca, recomenda-se o uso de clarificantes. Quando a água apresenta partículas em suspensão, aplicam-se procedimentos de floculação ou decantação, geralmente realizados com sulfato de alumínio.

Após a aplicação dos produtos, é necessário aguardar entre 6 e 12 horas antes de iniciar a aspiração do fundo da piscina, garantindo assim a eficácia das reações químicas.

Com a compreensão desses produtos e procedimentos, evidencia-se a complexidade do tratamento manual, o que reforça a necessidade de soluções tecnológicas baseadas em automação residencial, assunto abordado na próxima seção.

2.2 FUNDAMENTOS DA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Após compreender os aspectos estruturais e os métodos tradicionais de manutenção de piscinas, torna-se necessário examinar os princípios da automação residencial, uma vez que o sistema proposto se insere nesse contexto tecnológico. Este tópico aborda a

evolução histórica da automação aplicada ao ambiente doméstico, seus conceitos técnicos, componentes essenciais e protocolos de comunicação, que viabilizam o controle remoto e inteligente de diferentes dispositivos. Essa fundamentação permite compreender como as tecnologias emergentes podem ser aplicadas para aprimorar processos cotidianos, incluindo a manutenção automatizada de piscinas.

A automação residencial consiste na integração de sistemas tecnológicos destinados ao controle e à otimização de funções domésticas, como segurança, iluminação, climatização e comunicação. Essa integração, também conhecida como domótica³, tem como propósito aprimorar o conforto, a segurança e a eficiência energética das residências (MURATORI; BÓ, 2011).

O principal objetivo da automação residencial é proporcionar comodidade e segurança aos usuários, por meio do acionamento remoto e da integração de dispositivos inteligentes (DAGOSTIM; JORGE, 2022).

A automação residencial é composta por um conjunto de benefícios fundamentais que estruturam o conceito de casa inteligente. Entre seus principais pilares, destacam-se:

- **Conforto:** tem como objetivo facilitar tarefas cotidianas, permitindo ao usuário controlar dispositivos como lâmpadas, ar-condicionados e sistemas de irrigação de forma remota (DAGOSTIM; JORGE, 2022).
- **Segurança:** a integração de câmeras, fechaduras eletrônicas e sensores de presença possibilita o monitoramento remoto da residência, reforçando a proteção e a praticidade (DAGOSTIM; JORGE, 2022).
- **Economia:** a automação contribui para o uso racional de energia, com sistemas capazes de desligar lâmpadas automaticamente e ajustar a climatização conforme a necessidade, evitando desperdícios e promovendo maior eficiência energética (DAGOSTIM; JORGE, 2022).

Para que a automação funcione de forma adequada, é necessário que os dispositivos possuam conectividade, acesso à internet e capacidade de comunicação com um sistema central de controle, responsável pela coleta e troca de informações entre os equipamentos.

Praticamente todos os aparelhos eletrônicos que possuem algum tipo de acionamento podem ser automatizados, como sistemas de iluminação, portões, climatização e segurança. Esses dispositivos são conectados a uma central de controle, que pode ser acessada por meio de um *display touch*⁴, localizado na própria central, aplicativos para smartphones ou comandos de voz (DAGOSTIM; JORGE, 2022).

³ Domótica: conjunto de tecnologias voltadas à automação e ao controle inteligente de ambientes residenciais.

⁴ Display touch: superfície sensível ao toque que permite interação direta com o sistema.

2.2.1 HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

A automação residencial, embora recente quando comparada a outras áreas tecnológicas, apresenta avanços significativos ao longo das últimas décadas. Na década de 1970, surgiram nos Estados Unidos os primeiros módulos inteligentes baseados na transmissão de dados pela rede elétrica doméstica, utilizando a tecnologia PLC (*Power Line Communication*) [Muratori e Bó \(2011\)](#). Essa inovação marcou o início da integração entre dispositivos elétricos e sistemas de comunicação, permitindo que comandos simples fossem enviados por meio da fiação já existente.

Com o avanço da informática, o aprimoramento dos sistemas embarcados e a popularização da internet, a automação residencial passou a incorporar dispositivos capazes de monitorar e controlar equipamentos à distância, consolidando o conceito contemporâneo de residência conectada. Esse movimento possibilitou o desenvolvimento de soluções cada vez mais acessíveis e eficientes, ampliando o uso de sistemas inteligentes em diferentes ambientes domésticos.

A [Tabela 3](#) apresenta a evolução de algumas das principais tecnologias utilizadas na automação residencial ao longo dos anos, evidenciando o crescimento expressivo de funcionalidades como monitoramento de segurança, controle de iluminação, sistemas de áudio distribuído e gerenciamento energético.

Tabela 3 – Evolução das tecnologias de automação residencial ao longo dos anos.

Tecnologia	2003	2004	2005	2006	2015(*)
Cabeamento estruturado	42%	61%	49%	53%	80%
Monitoramento de segurança	18%	28%	29%	32%	81%
Multiroom audio	9%	12%	15%	16%	86%
Home Theater	9%	8%	11%	12%	86%
Controle de iluminação	1%	2%	6%	8%	75%
Automação integrada	0%	2%	6%	6%	70%
Gerenciamento de energia	1%	5%	11%	11%	62%

Fonte: ([MURATORI; BÓ, 2011](#)).

Ao compreender a evolução histórica e o crescimento das tecnologias aplicadas ao ambiente doméstico, torna-se possível identificar os fundamentos que sustentam os sistemas automatizados contemporâneos. O avanço dessas soluções evidencia uma trajetória marcada pela ampliação da conectividade, pela integração entre diferentes dispositivos e pela busca crescente por eficiência, conforto e segurança.

No próximo tópico, são apresentados os principais conceitos e componentes que constituem a base dos sistemas de automação, incluindo controladores, sensores, atuadores

e protocolos de comunicação. Esses elementos são essenciais para compreender o funcionamento e a integração entre os dispositivos que possibilitam a automação em ambientes residenciais.

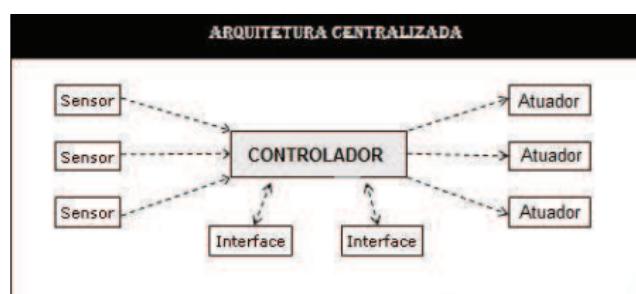
2.2.2 CONCEITOS TÉCNICOS DE AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Tecnicamente denominada domótica⁵, a automação residencial tem como principal objetivo acionar, monitorar, integrar e controlar diferentes variáveis de uma residência, como iluminação, climatização, áudio e vídeo, a fim de promover eficiência, comodidade e segurança ao usuário Oliveira e Alves (2019). No Brasil, o termo mais utilizado é automação residencial, uma tradução derivada da expressão americana *home automation*. Apesar disso, essa tradução não abrange plenamente a concepção de domótica, que envolve não apenas o controle remoto, mas a integração inteligente de sistemas.

O uso de tecnologias residenciais tem crescido de maneira expressiva no país; entretanto, o setor da construção civil ainda não acompanha plenamente o ritmo de evolução observado em áreas como a indústria automotiva, que já emprega amplamente *tecnologias embarcadas*⁶ Hipólito e SILVA (2018). Essa diferença evidencia a necessidade de maior disseminação dos conceitos técnicos que sustentam a automação no ambiente doméstico.

De acordo com Accardi e Dodonov (2012), a forma como os componentes de um sistema residencial se comunicam depende diretamente da arquitetura adotada, que pode ser centralizada ou descentralizada. Em uma arquitetura centralizada, todos os dispositivos se conectam a um único controlador principal, responsável por processar e executar todas as ações do sistema; esse arranjo é ilustrado na Figura 6. Essa configuração exige que o controlador possua alta capacidade de processamento e confiabilidade operacional.

Figura 6 – Arquitetura centralizada de automação residencial



Fonte: (HIPÓLITO; SILVA, 2018).

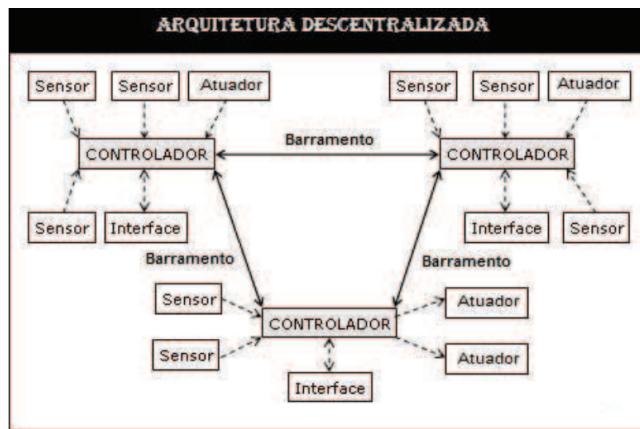
Na arquitetura descentralizada, diferentes controladores coexistem e se comunicam

⁵ Domótica: termo que designa a integração de tecnologias destinadas ao controle inteligente de ambientes residenciais.

⁶ Tecnologia embarcada: computador especializado, composto por hardware e software dedicados, integrados a um sistema maior para execução de funções específicas.

entre si por meio de um barramento de dados⁷, compartilhando o gerenciamento dos dispositivos interconectados; esse modelo encontra-se esquematizado na Figura 7. O modelo descentralizado distribui a responsabilidade entre múltiplos módulos, reduzindo a dependência de um único ponto de falha e aumentando a flexibilidade da instalação.

Figura 7 – Arquitetura descentralizada de automação residencial



Fonte: (HIPÓLITO; SILVA, 2018).

A compreensão dessas arquiteturas é essencial para o desenvolvimento e a implementação de sistemas automatizados, pois define a maneira como os dispositivos se organizam, trocam informações e executam comandos. Nas seções seguintes, serão apresentados os principais conceitos e componentes técnicos que constituem a base dos sistemas de automação residencial, incluindo controladores, sensores, atuadores e protocolos de comunicação.

2.2.2.1 COMPONENTES BÁSICOS

A automação residencial é composta por diversos elementos que, em conjunto, permitem o controle eficiente dos dispositivos instalados no ambiente doméstico. Esses componentes vão desde sensores simples até centrais complexas de automação. A seguir, são apresentados os principais elementos que estruturam essa tecnologia.

- **Camadas de dispositivos:**

1. **Sensores:** Segundo Leite (2020), o sensor é um dispositivo sensível ao ambiente no qual está inserido, capaz de detectar alterações em variáveis como temperatura, luminosidade ou movimento. Sua função consiste em captar essas mudanças e convertê-las em sinais elétricos que possam ser interpretados por um controlador e posteriormente utilizados pela rede de automação.

⁷ *Barramento de dados:* sistema de comunicação que permite a troca de informações entre dispositivos sem depender de um ponto central de controle.

2. **Atuadores:** São dispositivos eletromecânicos acionados pelo sistema para executar funções específicas, como ativar lâmpadas, fechaduras magnéticas, motores, válvulas ou sirenes (HIPÓLITO; SILVA, 2018). O atuador materializa a ação física determinada pela lógica programada.
 3. **Controladores:** Responsáveis por monitorar os dados coletados pelos sensores e acionar os respectivos atuadores conforme a lógica definida. O controlador pode operar como módulo independente ou integrar-se a centrais mais complexas (HIPÓLITO; SILVA, 2018).
 4. **Interfaces:** Dispositivos que permitem ao usuário interagir com o sistema automatizado, como painéis digitais, páginas web, aplicativos móveis ou assistentes de voz (ACCARDI; DODONOV, 2012). Essas interfaces constituem a camada de acesso humano ao sistema.
- **Camada de comunicação/rede:** Segundo Accardi e Dodonov (2012), a comunicação entre os dispositivos ocorre por meio de protocolos, que funcionam como acordos que definem regras e padrões para a troca de informações. Assim, o protocolo estabelece como os equipamentos interagem entre si dentro do sistema.
Entre os protocolos mais utilizados em automação residencial estão Ethernet, X-10, HomePNA e Wi-Fi. Alguns foram desenvolvidos especificamente para ambientes residenciais, enquanto outros derivam de aplicações industriais ou comerciais.
 - **Camada de controle/automação lógica:** Também denominada central de automação, essa camada representa o núcleo lógico do sistema, responsável por gerenciar os dispositivos conectados. Ela processa os dados recebidos e executa ações conforme as instruções programadas.
A configuração da central é realizada por meio de software dedicado, acessado a partir de computadores ou dispositivos móveis. Essa estrutura é escalável⁸, permitindo a adição contínua de novos dispositivos conforme a necessidade de expansão.

Nesse contexto, o próximo capítulo apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado para limpeza de piscinas, aplicando os conceitos estudados e demonstrando como a integração entre hardware e software pode oferecer uma solução segura, eficiente e inovadora para a manutenção residencial.

2.3 FERRAMENTAS UTILIZADAS PARA AUTOMAÇÃO

Esta seção apresenta as principais ferramentas, dispositivos e tecnologias empregadas no desenvolvimento do sistema automatizado proposto, abrangendo tanto os

⁸ Escalável: característica de sistemas capazes de aumentar sua capacidade ou complexidade sem perda de desempenho.

componentes físicos de hardware quanto as plataformas de controle utilizadas na integração entre sensores, atuadores e algoritmos de decisão.

2.3.1 COMPONENTES FÍSICOS E DE CONTROLE (HARDWARE)

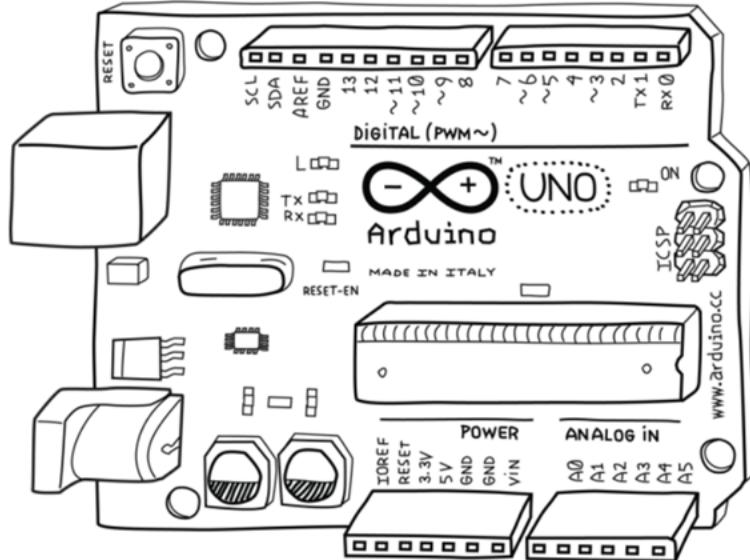
O sistema de automação requer componentes capazes de processar informações, interagir com o ambiente físico, executar ações mecânicas e realizar medições em tempo real. Entre esses elementos estão plataformas de prototipagem, microcomputadores, sensores especializados e atuadores eletromecânicos.

Arduino

Segundo Silva e Fernandes (2025), o Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto que permite o desenvolvimento de projetos simples ou complexos de forma acessível. Seu caráter open-source possibilitou a formação de uma comunidade global de desenvolvedores, tornando-o um dos elementos centrais da cultura maker. Essa cultura, por sua vez, deriva do movimento *Do It Yourself* (DIY), que incentiva a criação de projetos próprios com o uso de ferramentas acessíveis, como impressoras 3D e microcontroladores (BROCKVELD; TEIXEIRA; SILVA, 2017).

A placa Arduino é composta por diversos componentes, sendo o microcontrolador o núcleo responsável pelo processamento das instruções. Conforme destaca Massimo Banzi, um dos criadores da plataforma, o Arduino é consideravelmente menos potente que um computador convencional, porém extremamente útil para construção de dispositivos interativos dada sua simplicidade, baixo custo e modularidade (SILVA; FERNANDES, 2025).

Figura 8 – Placa Arduino Uno com pinos digitais e analógicos



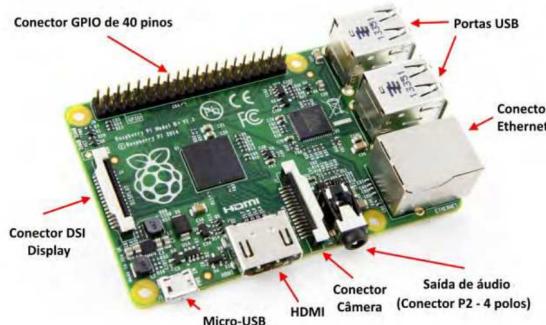
Fonte: (SILVA; FERNANDES, 2025).

A Figura 17 apresenta o Arduino Uno, que possui 14 pinos digitais e 6 pinos analógicos, permitindo a conexão com uma variedade de sensores e atuadores, possibilitando a interação direta entre o sistema e o ambiente físico.

Raspberry Pi

De acordo com Jucá e Pereira (2018), o Raspberry Pi é considerado um dos menores computadores do mundo, apresentando dimensões semelhantes às de um cartão de crédito. O dispositivo inclui porta HDMI⁹, portas USB, pinos de conexão GPIO, entrada Ethernet, conector P2 para áudio, módulo Wi-Fi e Bluetooth integrados.

Figura 9 – Raspberry Pi Modelo B+



Fonte: (JUCÁ; PEREIRA, 2018).

⁹ *High-Definition Multimedia Interface*: interface digital para transmissão de áudio e vídeo em alta definição.

O hardware do Raspberry Pi funciona de maneira integrada em uma única placa, o que reduz custos e possibilita que o dispositivo execute diversas funções de um computador convencional, como acesso à internet, edição de textos e reprodução de vídeos. Além disso, seus pinos GPIO permitem interação com sensores, possibilitando aplicações em automação e sistemas embarcados.

Sensores Específicos

Os sensores desempenham papel fundamental na automação, pois realizam a leitura de variáveis físicas ou químicas e as convertem em sinais elétricos interpretáveis pelo sistema. Entre os sensores utilizados no projeto, destacam-se:

- **Sensor de Temperatura:** segundo [Leite \(2020\)](#), identifica variações térmicas em equipamentos ou processos, permitindo ajustes automáticos conforme a condição medida.
- **Sensor de pH:** mede o nível de acidez ou alcalinidade da água, informação essencial para o controle químico em piscinas, lagos ou reservatórios ([LEITE, 2020](#)).
- **Sensor de Turbidez:** avalia o grau de turbidez de um líquido pela comparação entre um feixe de luz incidente e outro transmitido através de uma amostra ([CARDOSO, 2011](#)).
- **Sensor de Nível:** de acordo com [Souza \(2018\)](#), detecta a altura ou volume de líquidos ou materiais granulares em um reservatório, emitindo sinais conforme o nível varia.

Atuadores (Motores)

Os atuadores são responsáveis por executar ações físicas decorrentes das decisões tomadas pelo sistema. Em um ambiente automatizado, eles podem acionar bombas, válvulas, motores, travas ou iluminação, de acordo com os dados enviados pelos sensores ou com comandos diretos do usuário ([FLORÊNCIO, 2015](#)).

No contexto da automação de piscinas, um exemplo de atuador é a bomba de água. Quando o sensor de nível identifica redução significativa no volume do reservatório, o controlador aciona a bomba para restabelecer o nível adequado. Da mesma forma, o usuário pode ativar manualmente o sistema por meio de uma interface digital.

As bombas de água utilizadas em sistemas residenciais funcionam, em sua maioria, de forma submersa, instaladas dentro do reservatório do filtro. Entre suas vantagens estão a facilidade de instalação e a operação silenciosa, uma vez que o corpo da bomba permanece submerso ([LUCIFABIO et al., 2023](#)).

Figura 10 – Bomba de água utilizada como atuador no sistema



Fonte: ([LUCIFABIO et al., 2023](#)).

A compreensão dos componentes físicos utilizados no sistema permite visualizar como sensores, controladores e atuadores interagem para formar uma estrutura automatizada funcional. No capítulo seguinte, apresenta-se o desenvolvimento do sistema proposto, evidenciando a integração entre hardware e software necessária para aprimorar o processo de limpeza de piscinas residenciais.

2.3.2 FERRAMENTAS DE SOFTWARE E METODOLOGIAS DE DESENVOLVIMENTO

Linguagens de programação, segundo [Jesus \(2025\)](#), constituem um conjunto de regras semânticas e sintáticas que permitem a comunicação de instruções a um computador. Por meio delas, o desenvolvedor define os dados utilizados, a forma de armazenamento e as ações que o sistema deve executar mediante condições específicas. Essas linguagens possibilitam a construção de programas, sites, aplicações móveis e diversos outros tipos de software.

No desenvolvimento de sistemas modernos, observa-se a divisão entre front-end e back-end. O front-end corresponde à camada visual e interativa com a qual o usuário mantém contato direto. Essa camada pode ser construída com HTML, CSS e JavaScript, bem como com frameworks como React, que ampliam a produtividade e a modularidade do processo de desenvolvimento [Júnior et al. \(2025\)](#). Já o back-end, conforme [Calça \(2022\)](#), é responsável por toda a infraestrutura lógica que sustenta as ações realizadas no front-end, incluindo autenticação, comunicação com o banco de dados e processamento de operações internas.

Java

A linguagem Java é amplamente utilizada no desenvolvimento de aplicações web e corporativas. Classificada como orientada a objetos e multiplataforma, apresenta desempenho, segurança e confiabilidade adequados para aplicações robustas, incluindo sistemas empresariais, tecnologias de servidor, aplicações móveis e soluções voltadas para big data ([CALÇA, 2022](#)).

Framework e Spring Boot

Segundo [Calça \(2022\)](#), um framework consiste em um conjunto estruturado de componentes reutilizáveis que oferece ao desenvolvedor uma base pré-configurada, reduzindo a necessidade de criação de código do zero. Entre os frameworks Java, destaca-se o Spring Boot, projetado para agilizar o desenvolvimento de aplicações back-end ao simplificar configurações iniciais e disponibilizar módulos integrados. O Spring Boot também possui compatibilidade com o Spring Security, o que facilita a implementação de mecanismos de autenticação e controle de acesso.

React

De acordo com [Sousa \(2025\)](#), React é uma biblioteca JavaScript criada pelo Facebook, voltada para o desenvolvimento de interfaces web interativas. Sua arquitetura baseada em componentes reutilizáveis permite maior organização e reaproveitamento de código, reduzindo o tempo de desenvolvimento e promovendo maior consistência visual e funcional no front-end.

Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino

O Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Arduino é responsável por compilar e enviar instruções para a placa microcontrolada. A IDE traduz o código escrito em linguagem de alto nível para instruções compreendidas pelo microcontrolador, permitindo desde operações simples, como acionar um LED, até o controle de bombas e motores a partir de dados coletados por sensores ([SILVA; FERNANDES, 2025](#)).

A interface da IDE é intuitiva, possibilitando que usuários com diferentes níveis de experiência desenvolvam seus projetos. Além disso, oferece ferramentas de compilação, verificação e comunicação com a placa, tornando-se essencial para a integração entre o ambiente digital e o físico.

Banco de Dados

Segundo [Date \(2004\)](#), um banco de dados é um sistema destinado ao armazenamento, organização e recuperação estruturada de informações. Ele permite inserir,

consultar, atualizar e excluir registros conforme a necessidade da aplicação. Em um sistema de automação, o banco de dados pode armazenar parâmetros coletados por sensores, registros de operações, dados históricos e configurações do sistema, possibilitando um acompanhamento preciso do funcionamento do ambiente automatizado.

Engenharia de Software

A engenharia de software busca desenvolver sistemas de alta qualidade de maneira eficiente e econômica, aplicando princípios de engenharia ao processo de criação, manutenção e documentação do software [Vasconcelos et al. \(2006\)](#). Esse processo envolve diferentes etapas do ciclo de vida do software, desde a concepção até a implantação, que incluem análise, projeto, implementação, testes e manutenção.

Os engenheiros de software devem empregar abordagens sistemáticas e metodologias adequadas ao problema, às restrições e aos recursos disponíveis, de modo a aumentar a probabilidade de sucesso do projeto e garantir que o software atenda às necessidades dos usuários dentro do prazo e orçamento estabelecidos.

RUP

O Rational Unified Process (RUP), segundo [Piske \(2003\)](#), é uma metodologia estruturada de desenvolvimento de software baseada em práticas recomendadas (*best practices*) e voltada à redução de riscos durante o projeto. O RUP caracteriza-se por ser iterativo e incremental: o sistema é desenvolvido em ciclos sucessivos, nos quais novas funcionalidades são incorporadas ao produto [Moreira \(2025\)](#).

De acordo com [Vasconcelos \(2025\)](#), o RUP é composto por quatro fases principais:

- **Concepção:** definição do problema, escopo e objetivos fundamentais;
- **Elaboração:** modelagem dos casos de uso e arquitetura inicial;
- **Construção:** desenvolvimento e integração do software;
- **Transição:** testes práticos, avaliação de desempenho e ajustes finais.

Linguagem UML

Segundo [Castro, Cruz e Oddone \(2013\)](#), a Linguagem de Modelagem Unificada (UML) é um conjunto de notações destinado à representação visual de sistemas de software. Sua função é auxiliar na especificação, documentação e compreensão da estrutura e do comportamento do sistema. A UML atua como meio de comunicação entre analistas e usuários, aumentando a clareza na definição dos requisitos.

Entre os diversos tipos de diagramas existentes, o Diagrama de Casos de Uso é amplamente utilizado nas etapas iniciais, por permitir a representação das interações entre os usuários e o sistema de maneira clara e objetiva.

Diante das ferramentas e metodologias apresentadas, observa-se que o desenvolvimento de sistemas de automação exige a integração entre tecnologias de software, técnicas de engenharia e boas práticas metodológicas. Essa combinação permite construir soluções robustas, seguras e alinhadas às necessidades do usuário.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 TIPO DE PESQUISA E ETAPAS DE CONSTRUÇÃO

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem mista e natureza exploratória e experimental. Inicialmente, foi conduzido um estudo teórico sobre automação residencial, sensores, atuadores e controladores IoT, fundamentado em autores apresentados no Capítulo 2. Essa etapa permitiu compreender os processos físico-químicos envolvidos no tratamento da água, as normas sanitárias aplicáveis e os requisitos técnicos necessários para a integração entre hardware, software e dispositivos embarcados.

A motivação principal desta pesquisa surge das limitações significativas associadas à limpeza manual de piscinas, que envolvem uma série de desafios e riscos. Primeiramente, há o risco à saúde dos usuários, uma vez que a limpeza inadequada pode comprometer a qualidade da água, criando condições propícias para o crescimento de microrganismos prejudiciais à saúde. Além disso, a falta de precisão no momento de adicionar produtos químicos à piscina pode resultar no desperdício desses produtos, prejudicando tanto a eficácia do tratamento quanto gerando custos desnecessários. Por fim, a limpeza de piscinas ainda depende fortemente do conhecimento de quem a realiza, o que cria uma dependência de profissionais qualificados. Isso significa que, em muitas situações, indivíduos sem a experiência necessária precisam contar com a ajuda de outros, o que pode gerar dificuldades operacionais e inconsistências na qualidade da manutenção.

O levantamento bibliográfico incluiu artigos científicos, manuais técnicos, normas da ABNT e documentos da ANVISA, garantindo base técnica suficiente para orientar as decisões posteriores de arquitetura, modelagem e implementação do sistema. Os critérios escolhidos para seleção das fontes bibliográficas foram: a atualidade das informações, priorizando-se publicações dos últimos cinco anos para temas relacionados à tecnologia, mercado de automação e Internet das Coisas (*IoT*); a relevância técnica, com o uso de manuais de fabricantes e guias especializados para fundamentar os processos físico-químicos de tratamento da água; e a robustez teórica, buscando-se autores consolidados e trabalhos acadêmicos reconhecidos para embasar as metodologias de Engenharia de Software e arquitetura de sistemas.

3.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Neste projeto, adotou-se o Rational Unified Process (RUP) como metodologia de desenvolvimento devido à sua estrutura iterativa e incremental, ao foco na mitigação de riscos e à ênfase na modelagem e documentação. Conforme exposto na fundamentação teórica, o RUP organiza o processo de engenharia de software em quatro fases principais:

Concepção, Elaboração, Construção e Transição. Cada fase apresenta objetivos específicos que orientam a evolução do sistema, garantindo rastreabilidade entre requisitos, arquitetura e implementação.

A escolha dessa metodologia consolida um fluxo contínuo durante o desenvolvimento, no qual cada artefato produzido em uma fase é responsável por validar a etapa seguinte. Dessa forma, o levantamento de requisitos realizado na fase de Concepção serve como base para a modelagem arquitetural na fase de Elaboração, com os diagramas orientando o desenvolvimento do sistema na fase de Construção. Por fim, a conformidade do software desenvolvido é verificada durante a fase de Transição.

As subseções seguintes descrevem cada etapa, destacando as atividades realizadas e sua relação com os artefatos produzidos.

3.3 FASE DE CONCEPÇÃO (*INCEPTION*)

Nesta fase, foram definidos o problema, o escopo inicial do projeto e os requisitos fundamentais. O problema identificado consiste na dificuldade encontradas por usuários no processo manual de manutenção de piscinas, devido à necessidade de medições constantes, cálculos físicos e químicos, além da possibilidade de desperdício de produtos decorrente da aplicação incorreta das dosagens.

Diante disso, a execução inadequada dos processos de limpeza acarreta riscos diretos à integridade dos usuários e dos equipamentos. Segundo a literatura técnica, a falha no controle do pH é crítica: valores abaixo de 7,2 provocam irritações imediatas na pele e nos olhos dos banhistas, além de acelerar a corrosão de tubulações e componentes metálicos. Já a manutenção de um pH acima de 7,8, comum em correções manuais imprecisas, reduz drasticamente a eficácia dos agentes sanitizantes, comprometendo a desinfecção da água.

A partir dessa análise, concebeu-se o sistema de automação com base nos seguintes objetivos: automatizar a leitura dos principais parâmetros da água; reduzir o uso inadequado de produtos químicos; otimizar o acionamento dos mecanismos de filtragem; e fornecer ao usuário meios de visualização e interação com os dados.

O levantamento de requisitos resultou nos seguintes requisitos funcionais e não funcionais, apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4 – Requisitos Funcionais do Sistema de Automação de Piscinas.

Código	Descrição
RF01	O sistema deve monitorar automaticamente os níveis de pH, turbidez, temperatura e nível da água.
RF02	O sistema deve acionar automaticamente a bomba de filtragem e o aquecedor conforme os parâmetros definidos ou coletados pelos sensores.
RF03	O sistema deve disponibilizar uma interface web para visualização dos parâmetros monitorados.
RF04	O sistema deve permitir o cadastro e armazenamento dos dados coletados no banco de dados.
RF05	O sistema deve permitir o cadastro de piscinas vinculadas a usuários.
RF06	O sistema deve emitir alertas quando algum parâmetro ultrapassar o limite ideal.
RF06	O sistema deve emitir gráficos de acordo com os últimos dados de determinadas parâmetros coletados.

Fonte: Autoria própria.

Para a validação dos requisitos elencados, foram estabelecidos critérios quantitativos de aceitação baseados no desempenho esperado para um protótipo IoT. Determinou-se que a precisão dos sensores (RF01) deve operar com margem de erro inferior a $\pm 5\%$ em comparação a medições de referência. Quanto ao desempenho temporal, estabeleceu-se que o tempo de latência total, compreendido entre a aquisição do dado físico pelo microcontrolador e sua visualização na interface web, não deve exceder 5 segundos, garantindo a monitoração em tempo quase real. No que tange à comunicação (RNF04), considera-se o sistema estável se as requisições HTTP apresentarem taxa de sucesso superior a 95% em operação contínua, com tempo de resposta do servidor inferior a 4 segundo por requisição. Por fim, o requisito de automação (RF02) será considerado atendido se o acionamento dos atuadores (bombas) ocorrer em até 2 segundos após a detecção de uma condição crítica parametrizada no sistema.

Tabela 5 – Requisitos Não Funcionais do Sistema de Automação de Piscinas.

Código	Descrição
RNF01	O sistema deve utilizar o banco de dados PostgreSQL para armazenamento das informações.
RNF02	A interface web deve ser responsiva e acessível em dispositivos móveis e desktops.
RNF03	A comunicação entre o microcontrolador e o servidor deve ocorrer de forma segura, utilizando protocolos HTTP.
RNF04	O sistema deve ser desenvolvido com o framework Spring Boot no back-end e React no front-end.

Fonte: Autoria própria.

As tecnologias selecionadas para atender ao escopo inicial incluíram o Raspberry Pi como dispositivo de controle, sensores de pH, nível e temperatura, o framework React para interface web e PostgreSQL como banco de dados. O uso do Spring Boot no *back-end* foi definido devido à sua robustez e integração com bibliotecas de segurança, conforme discutido na Seção 2.3.2.

3.4 FASE DE ELABORAÇÃO (*ELABORATION*)

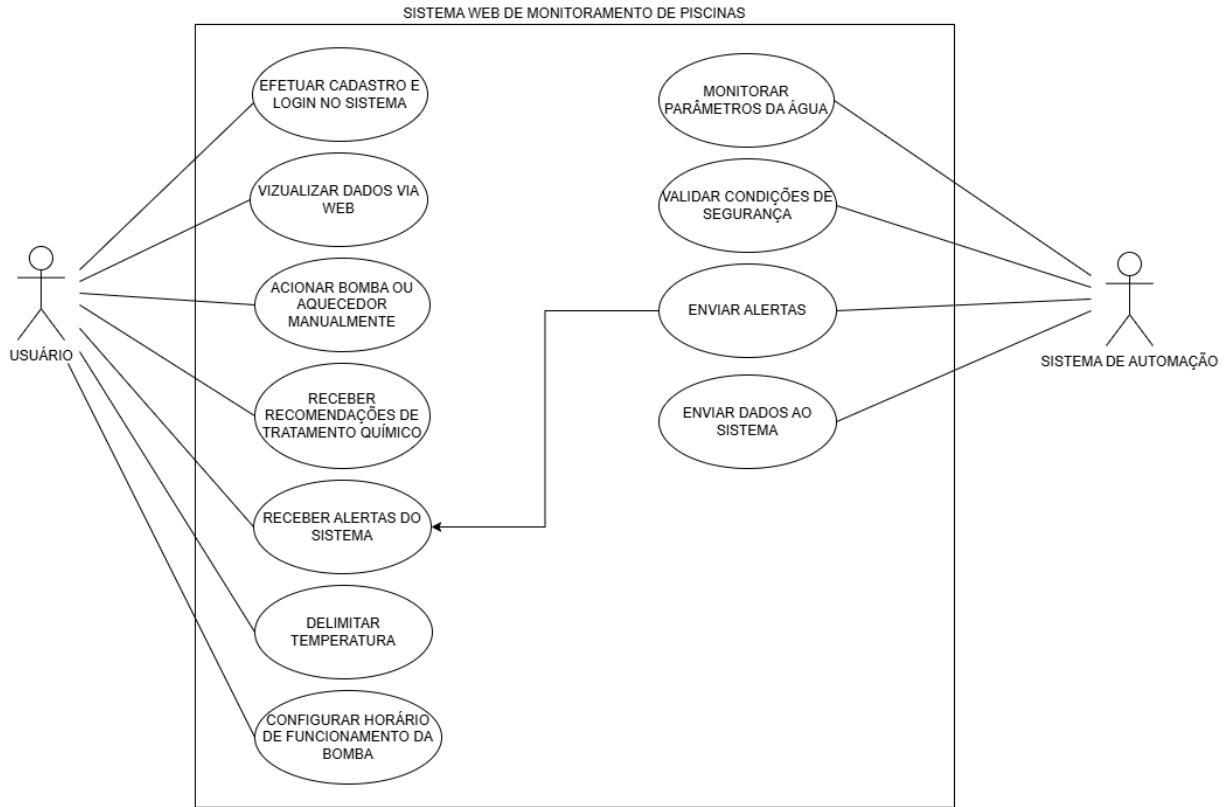
Visando a mitigação de riscos técnicos, foram desenvolvidos protótipos funcionais com o intuito de validar a estabilidade da arquitetura proposta. Testes preliminares de integração entre os sensores, o microcontrolador Arduino e o Raspberry Pi foram executados para verificar a capacidade da comunicação serial e a latência no envio de dados, garantindo que a infraestrutura de hardware escolhida suportaria os requisitos de desempenho do sistema.

Nesta etapa foram definidos os artefatos estruturais do sistema, incluindo a modelagem dos casos de uso, a arquitetura de comunicação entre os dispositivos físicos e a especificação dos componentes embarcados que compõem o protótipo. Assim, esta fase estabelece o vínculo entre os requisitos levantados na Concepção e a implementação realizada na fase de Construção, garantindo que o sistema seja desenvolvido com base em uma arquitetura validada e documentada.

Modelagem de Caso de Uso

O Diagrama de Caso de Uso, elaborado segundo a UML, fornece uma visão geral das interações entre os atores e as funcionalidades principais do sistema. Esse diagrama permite compreender como o usuário acessa as informações coletadas, como interage com o sistema e como os dispositivos físicos se integram às operações lógicas implementadas.

Figura 11 – Diagrama de Caso de Uso do Sistema



Fonte: Autor.

Arquitetura Geral do Sistema

O sistema foi concebido em uma arquitetura distribuída composta por sensores, um microcontrolador (Arduino), um microcomputador (Raspberry Pi), o *back-end* desenvolvido em Spring Boot e a interface web criada com React. O fluxo principal consiste em:

1. Coleta dos dados pelos sensores conectados ao Arduino;
2. Comunicação entre Arduino e Raspberry Pi para envio das leituras;
3. Envio periódico das informações ao servidor por meio de requisições HTTP;
4. Armazenamento dos dados no banco PostgreSQL;
5. Apresentação dos parâmetros ao usuário via interface web.

Essa arquitetura permite escalabilidade e desacoplamento entre as camadas, em conformidade com os princípios discutidos no Capítulo 2. Contudo, a distribuição dos componentes introduz riscos operacionais, como a dependência crítica da integridade física de múltiplos dispositivos, onde a falha em um nó (sensor ou controlador) pode interromper o fluxo de dados. Adicionalmente, a comunicação via protocolos HTTP está sujeita a latências e instabilidades de rede, como as observadas na infraestrutura local, o que impõe a necessidade de implementar mecanismos de tratamento de exceções e reconexão automática. Tais medidas são essenciais para garantir que o sistema recupere sua operabilidade sem intervenção humana após falhas momentâneas de conectividade.

Componentes Utilizados no Sistema

A seguir apresentam-se os componentes físicos selecionados para o desenvolvimento do protótipo, incluindo sensores, atuadores e microcontroladores. A apresentação destes elementos nesta fase é coerente com o RUP, uma vez que a Elaboração contempla a definição da arquitetura física e lógica do sistema.

Sensor de Temperatura

Figura 12 – Sensor de Temperatura MF58 (NTC 10K)

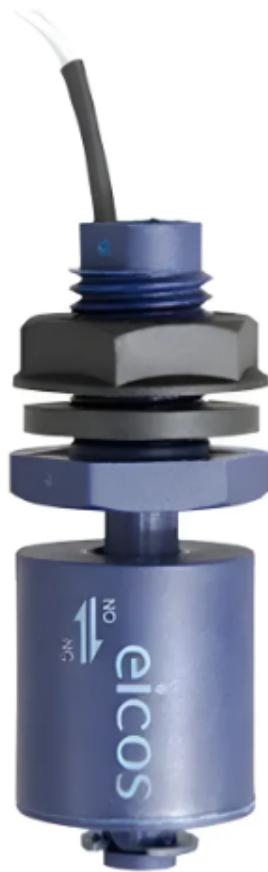


Fonte: ([INFINITO, 2025](#)).

O sensor selecionado para a medição da temperatura da água é o modelo MF58 (NTC 10K), um termistor cujo coeficiente de resistência decresce conforme a temperatura aumenta. A leitura é realizada por uma porta analógica do Arduino por meio de um divisor de tensão, permitindo a conversão da resistência em valores de temperatura.

Sensor de Nível

Figura 13 – Sensor de Nível LC26M-40



Fonte: ([EICOS, 2025](#)).

O sensor de nível utilizado é o modelo LC26M-40, fabricado em Polipropileno (PP). Seu funcionamento baseia-se em um interruptor magnético interno (*Reed Switch*), que altera seu estado conforme o flutuador se move com a variação do nível da água. O componente fornece um sinal digital tipo SPST, permitindo a identificação de nível crítico no reservatório.

Sensor de pH

Figura 14 – Sensor de Nível LC26M-40



Fonte: ([PH, 2025](#)).

O sensor de pH empregado no sistema realiza a medição da acidez da água da piscina. Os valores capturados são processados inicialmente no Arduino e enviados ao servidor para análise dos parâmetros e posterior recomendação de ajuste químico. A imagem será adicionada posteriormente, conforme previsto pelo aluno.

Sensor de Turbidez

Figura 15 – Sensor de Nível LC26M-40



Fonte: ([TURBIDEZ, 2025](#)).

O sensor de turbidez selecionado para o desenvolvimento do sistema foi o ST100, responsável por medir a presença de partículas em suspensão na água (turbidez). Os valores analógicos capturados pelo módulo de leitura são inicialmente processados pelo Arduino e, em seguida, enviados ao servidor para análise dos parâmetros. Com base nesses dados, o sistema faz a recomendação para o acionamento do sistema de filtragem ou aplicação do decantador, conforme necessário.

Bombas Submersas

Figura 16 – Bomba Submersa JT100

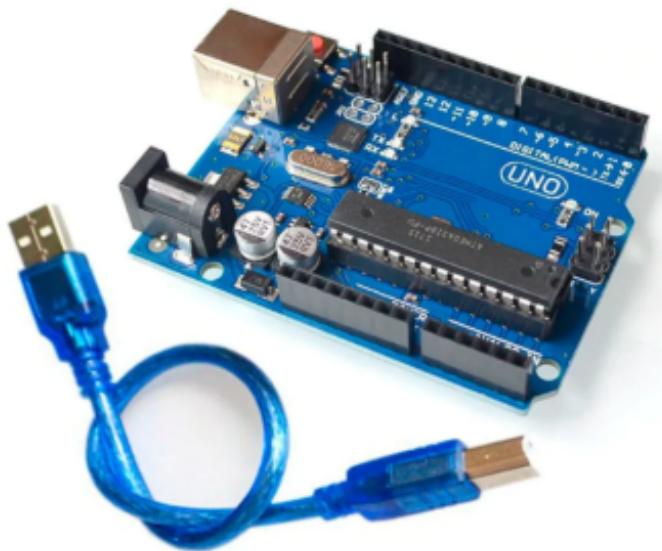


Fonte: ([INFINITO, 2025](#)).

Foram empregadas bombas submersas de 3 a 5V, modelo JT100, responsáveis pelo enchimento, filtragem e acionamento da cascata. O equipamento apresenta vazão de 1000 a 1500 ml/min e altura máxima de elevação de 1 metro. Suas dimensões reduzidas e facilidade de integração justificam sua escolha para este protótipo.

Arduino

Figura 17 – Placa Arduino Uno R3



Fonte: ([LIVRE, 2025](#)).

O Arduino Uno R3 foi selecionado como microcontrolador responsável pela leitura direta dos sensores e pelo acionamento dos atuadores. Sua ampla compatibilidade com bibliotecas abertas e a quantidade adequada de pinos digitais e analógicos possibilitam atender aos requisitos levantados na Concepção.

Raspberry PiFigura 18 – *Raspberry Pi 3 Model B*

Fonte: ([PI, 2025](#)).

O *Raspberry Pi 3 Model B* foi definido como o dispositivo intermediário entre o Arduino e o servidor. Seu processador quad-core, 1GB de RAM e compatibilidade com Linux permitem a execução de rotinas contínuas de envio de dados, comunicação co

Tabela 6 – Resumo das Especificações Técnicas dos Componentes de Hardware.

Componente	Função Principal	Tensão	Comunicação / Sinal
Raspberry Pi 3 B	Gateway de comunicação e envio de dados ao servidor	5V	Serial (USB) / Wi-Fi (HTTP)
Arduino Uno R3	Microcontrolador para leitura de sensores e controle de atuadores	5V / 9V	Serial / I/O Digital e Analógico
Sensor Temp. (NTC)	Monitoramento térmico da água	5V	Analógico (Divisor de Tensão)
Sensor de Nível	Detecção de nível crítico do reservatório	5V	Digital (On/Off)
Sensor de pH	Medição da acidez e alcalinidade	5V	Analógico
Sensor de Turbidez	Análise da transparência da água	5V	Analógico
Bomba Submersa	Atuador para circulação e filtragem	3V - 6V	Acionamento via Relé (Sinal Digital)

Fonte: Autoria própria.

3.5 FASE DE CONSTRUÇÃO (*CONSTRUCTION*)

Em conformidade com a metodologia RUP, a fase de Construção foi executada por meio de ciclos iterativos e incrementais. O desenvolvimento iniciou-se pela camada física, com a implementação e validação individual dos sensores e atuadores no microcontrolador. Após garantir a estabilidade da leitura dos dados, iniciou-se a codificação da camada lógica, abrangendo o back-end (Spring Boot), o banco de dados e o front-end (React). A etapa final consistiu na integração completa entre o hardware e o software, validando o fluxo de transmissão das informações desde a coleta no ambiente físico até a visualização na interface web.

O desenvolvimento do código foi conduzido em duas camadas: a camada embarcada, responsável pela leitura e envio dos dados; e a camada de aplicação, que recebeu, armazenou e exibiu as informações aos usuários.

Na camada embarcada, o Arduino foi programado via IDE própria para realizar a leitura dos sensores analógicos e digitais. A Figura 19 demonstra a função de coleta dos parâmetros da água e o acionamento condicional dos atuadores.

Figura 19 – Trecho de código do Arduino: Leitura de sensores e controle



```
1 // 1. Lógica de Conversão do Termistor (Física)
2     float tempCelsius = 0;
3     float voltagem = analogRead(PINO_TEMP) * (5.0 / 1023.0);
4
5     // Evita divisão por zero ou leituras erradas (cabo solto)
6     if (voltagem > 0.1 && voltagem < 4.9) {
7         // Fórmula Beta para converter resistência em Temperatura
8         float r_termistor = R_FIXO * (5.0 - voltagem) / voltagem;
9         float tempKelvin = 1.0 / (1.0 / (273.15 + 25.0) + log(r_termistor / RT0) / BETA);
10        tempCelsius = tempKelvin - 273.15; // Converte Kelvin para Celsius
11    }
12
13    // 2. Formata os dados em JSON para o Raspberry Pi
14    // Exemplo de saída: {"t":25.5,"n":1}
15    Serial.print("{\"t\":");
16    Serial.print(tempCelsius);
17    Serial.print(",");
18    Serial.print(nivelAtual);
19    Serial.println("}");
```

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, o Raspberry Pi atua como *gateway*, utilizando scripts em Python para receber os dados via serial e encaminhá-los à nuvem. A Figura 20 ilustra a requisição HTTP POST realizada para enviar as leituras ao servidor.

Figura 20 – Script Python no Raspberry Pi: Envio de dados via HTTP



Fonte: Autoria própria.

Na camada de aplicação, o *back-end* desenvolvido em Spring Boot recebe essas requisições, persiste os dados no banco PostgreSQL e gerencia a lógica de negócios. A Figura 21 e a ?? apresenta o *Controller* responsável por receber os dados do sensor e o método para processar o comando de acionamento vindo da interface.

Figura 21 – Controller Spring Boot: Recepção de dados e endpoints de controle

```

● ● ●

1 package com.ifg.residIFG.controllers;
2
3 import com.ifg.residIFG.domain.piscinas.LeituraSensor;
4 import com.ifg.residIFG.repository.LeituraSensorRepository;
5 import org.springframework.beans.factory.annotation.Autowired;
6 import org.springframework.web.bind.annotation.*;
7
8 import java.util.List;
9 import java.util.Map;
10
11 @RestController
12 @RequestMapping("/api/sensor")
13 @CrossOrigin(origins = "*") // Permite requisições do Front-end (CORS)
14 public class SensorController {
15
16     @Autowired
17     private LeituraSensorRepository repository;
18
19     // Endpoint responsável por receber a telemetria do Raspberry Pi
20     @PostMapping("/receber")
21     public void receberDados(@RequestBody Map<String, Object> dados) {
22         Double temp = Double.valueOf(dados.get("t").toString());
23
24         // Converte o sinal binário do sensor de nível (0 ou 1) para Booleano
25         Integer nivelRaw = Integer.valueOf(dados.get("n").toString());
26         Boolean nivel = (nivelRaw == 1);
27
28         // Persiste a leitura no banco de dados
29         LeituraSensor leitura = new LeituraSensor(temp, nivel);
30         repository.save(leitura);
31     }
32
33     // Retorna o último registro para atualização em tempo real do Dashboard
34     @GetMapping("/atual")
35     public LeituraSensor getAtual() {
36         return repository.findTopByOrderByDataHoraDesc();
37     }
38
39     // Retorna a série histórica para renderização dos gráficos de monitoramento
40     @GetMapping("/historico")
41     public List<LeituraSensor> getHistorico() {
42         return repository.findTop20ByOrderByDataHoraDesc();
43     }
44 }

```

Fonte: Autoria própria.

Por fim, o *front-end* em React consome essa API para consolidar a interface de visualização. A Figura 23 exibe a função de resgate de dados (*fetch*) para atualização dos gráficos e o componente de *toggle* utilizado para enviar comandos manuais ao sistema.

Figura 22 – Componente React: Consumo de API e controle de estado



```
1  useEffect(() => {
2      const buscarDados = async () => {
3          try {
4              const response = await api.get("/api/sensor/atual");
5
6              if (response.data) {
7                  setNivelAgua(response.data.nivelCheio);
8                  setPumpActive(!response.data.nivelCheio);
9                  setTemperaturaAtual(response.data.temperatura);
10             }
11         } catch (error) {
12             console.error("Erro ao buscar sensores:", error);
13         }
14     };
15
16     buscarDados();
17     const intervalo = setInterval(buscarDados, 5000);
18     return () => clearInterval(intervalo);
19 }, []);
20
```

Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Componente React: Consumo de API e controle de estado



```
1  const registrarHistorico = async (descricao: string) => {
2      try {
3          await api.post("/api/historicoAdd", { descricao, user });
4      } catch (error) {
5          console.error("Erro ao registrar histórico:", error);
6      }
7  };
8
9  const handlePumpToggle = async (checked: boolean) => {
10    setPumpActive(checked);
11    localStorage.setItem("pumpActive", JSON.stringify(checked));
12    const message = checked ? "Bomba ativada" : "Bomba desativada";
13    toast.success(message);
14    await registrarHistorico(message);
15};
```

Fonte: Autoria própria.

O Arduino, programado via IDE própria, capturou os parâmetros da água e acionou os atuadores quando necessário. O Raspberry Pi, utilizando scripts em Python, recebeu os dados do microcontrolador e os encaminhou ao servidor. O *back-end*, desenvolvido em Spring Boot, estruturou a API responsável pela comunicação, enquanto o *front-end* em React consolidou a interface de visualização.

3.6 FASE DE TRANSIÇÃO (*TRANSITION*)

Nesta fase, o sistema passou por testes práticos para validação do seu desempenho. Foram aplicados testes unitários nos sensores, incluindo calibração do NTC, verificação da estabilidade do sensor de nível e simulações de funcionamento crítico das bombas para evitar condições de *dry-run*. Testes de integração verificaram o fluxo completo de dados, desde a leitura até a exibição na interface.

Tabela 7 – Resumo dos Testes Realizados e Resultados Obtidos.

Teste Realizado	Objetivo do Teste	Resultado
Calibração do Sensor NTC	Verificar a precisão térmica comparada a um termômetro de referência	
Calibração do Sensor de pH	Verificar a precisão do sensor comparando com testes de estojos para analisar parâmentros da água	
Validação de Turbidez	Verificar linearidade e sensibilidade através do método de diluição seriada (água límpida vs. saturada)	
Estabilidade do Sensor de Nível	Confirmar acionamento correto da boia sem oscilações espúrias (de-bounce)	
Proteção <i>Dry-run</i>	Impedir o acionamento da bomba quando o reservatório está vazio	
Integração de Dados	Validar o fluxo: Arduino → Raspberry → Banco de Dados	
Latência da Interface	Medir tempo entre a leitura do sensor e atualização na tela	

Fonte: Autoria própria.

Também foram realizados testes de responsividade da interface e de comunicação entre o servidor e o dispositivo embarcado. Os ajustes finais envolveram correções de algoritmos de conversão, ajustes de temporização e adequações na exibição gráfica dos dados.

Apesar dos resultados satisfatórios, foram identificadas limitações inerentes à prototipagem em escala reduzida. A principal dificuldade técnica residiu na calibração

fina dos sensores analógicos (turbidez e pH), que demonstraram sensibilidade a ruídos elétricos, exigindo tratamento de dados via software para garantir a confiabilidade descrita na [Tabela 7](#). Além disso, a dependência da infraestrutura de rede local evidenciou que falhas momentâneas de conectividade podem gerar lacunas no monitoramento em tempo real.

Como trabalhos futuros, sugere-se a validação do sistema em uma piscina de alvenaria em escala real, permitindo avaliar o comportamento dos sensores sob intempéries e uso contínuo. Recomenda-se também a incorporação de um sensor de Cloro Livre (ORP) para fechar o ciclo completo de automação química, bem como a implementação de algoritmos de inteligência artificial para manutenção preditiva, visando antecipar falhas nos equipamentos com base no histórico de operação.

4 RESULTADOS

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

REFERÊNCIAS

- ACCARDI, A.; DODONOV, E. Automação residencial: elementos básicos, arquiteturas, setores, aplicações e protocolos. *Revista TIS*, v. 1, n. 2, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 25.
- ATCLLOR. *Guia de Tratamento de Piscinas*. [S.l.], 2021. Disponível em: <<https://atcllor.com.br/download/Guia-do-Tratamento.pdf>>. Citado 4 vezes nas páginas 15, 16, 18 e 19.
- BENEDITO, J. N. F. J. N. F. et al. Projeto: expansão de uma empresa prestadora de serviços em tratamento e limpeza de piscinas. 238, 2024. Disponível em: <<http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/bitstream/123456789/28057/1/Empresa%20prestashop%20de%20serviços%20em%20tratamento%20e%20limpeza%20de%20piscinas%20-%20Expansão.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- BOEIRA, A. M. *Autopool: sistema de automação de piscina*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Centro Universitário Unifacvest, Lages, SC, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.
- BRANDÃO, A. F.; ROCHA, M. F. S. *Sistema de controle automático para desinfecção e correção de pH aplicado em piscinas*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.
- BROCKVELD, M. V. V.; TEIXEIRA, C. S.; SILVA, M. d. A cultura maker em prol da inovação: boas práticas voltadas a sistemas educacionais. In: *Anais da Conferência ANPROTEC*. [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://via.ufsc.br/wp-content/uploads/2017/11/maker.pdf>>. Citado na página 26.
- CALÇA, J. V. J. Análise comparativa entre os frameworks django e spring boot. 121, 2022. Disponível em: <http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/bitstream/123456789/24770/1/informaticanegocios_2022_2_joaovictorjustocalca_analisecomparativaentreosframeworksdjangoesprin.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- CAMPOS, R. A. F. Automação residencial utilizando arduino e aplicação web. 2014. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/5461/1/Monografia_Roberto.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.
- CARDOSO, T. G. Sensor de turbidez para análise de amostras de água. 2011. Disponível em: <<https://files.core.ac.uk/download/pdf/185254372.pdf>>. Citado na página 28.
- CASTRO, F. R.; CRUZ, F. M. da; ODDONE, N. E. O paradigma da orientação a objetos, a linguagem unificada de modelagem (uml) e a organização e representação do conhecimento: um estudo de caso de um sistema para bibliotecas. *Informação & Informação*, v. 18, n. 1, p. 82–105, 2013. Disponível em: <<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/9547/pdf>>. Citado na página 31.

- CNI. *INDÚSTRIA 4.0 CINCO ANOS DEPOIS*. 2022. Accessed: 27/05/2025. Disponível em: <https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/cd/a2/cda22223-5c33-4a5f-af4e-f5a5d64b3d85/sondespecial_industria40_cincoanosdepois_abril2022.pdf?utm_source=chatgpt.com>. Citado na página 8.
- DAGOSTIM, N. E.; JORGE, G. B. Automação residencial: Aliando tecnologia e praticidade. 2022. Disponível em: <<https://www4.fag.edu.br/anais-2022/Anais-2022-53.pdf>>. Citado na página 21.
- DATE, C. J. *Introdução a sistemas de bancos de dados*. Elsevier Brasil, 2004. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=lang_pt&id=xBeO9LSIK7UC&oi=fnd&pg=PP23&dq=banco+de+dados&ots=xdRymZv99M&sig=BOK0UOyvoOOC1r7LymdCUFDfEM#v=onepage&q&f=false>. Citado na página 30.
- EICOS. 2025. Disponível em: <<https://www.eicos.com.br/sensor-de-nivel/montagem-vertical/LC26M-40/>>. Citado na página 39.
- ELÉTRICO, R. M. *Mercado de automação residencial segue em forte crescimento*. 2023. Accessed: 27/05/2025. Disponível em: <<https://www.revistamundoelectrico.com.br/tecnologia/tecnologia-tecnologia/mercado-de-automacao-residencial-segue-em-forte-crescimento/>>. Citado na página 8.
- FIBRATEC. *Conheça a história das piscinas*. 2021. Accessed: 01/07/2025. Disponível em: <<https://fibratecpiscinas.com.br/blog/historia-das-piscinas>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- FLORÊNCIO, G. Central microcontrolada para automação residencial: controle sem fio para sensores e atuadores. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ifsp.edu.br/server/api/core/bitstreams/d3970e46-37d0-4aac-a5c6-57b8db1952d4/content>>. Citado na página 28.
- GENCO®. 2025. Accessed: 02/10/2025. Disponível em: <<https://www.genco.com.br/estojos-ot>>. Citado na página 20.
- GENYO. *O que é e como colher os benefícios na sua empresa*. 2024. Accessed: 25/05/2025. Disponível em: <https://genyo.com.br/automacao/?utm_source=chatgpt.com>. Citado na página 8.
- HARRIS, T. *Como funcionam as Piscinas*. 2025. Disponível em: <<https://home.howstuffworks.com/swimming-pool.htm>>. Acesso em: 12 set. 2025. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 14.
- HIPÓLITO, J. G.; SILVA, M. d. J. d. Automação residencial com arduino. Centro Universitário UNIFAFIBE, 2018. Disponível em: <<https://unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistaeletrica/sumario/69/06022019135904.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 25.
- IDEIA, P. *Limpeza e Manutenção de Piscinas*. 2025. Acessado em: 24 jul. 2025. Disponível em: <<https://portalidea.com.br/cursos/e643d94d6e685cffa352bd7370bf84a7.pdf>>. Citado na página 15.

- INFINITO, H. 2025. Disponível em: <<https://www.huinfinito.com.br/sensores/1595-sensor-de-temperatura-mf58-ntc-10k-prova-d-agua.html>>. Citado 2 vezes nas páginas 38 e 42.
- JESUS, W. S. C. de. Introdução a lógica e a linguagem de programação. Universidade do Vale do Paraíba, 2025. Disponível em: <https://www1.univap.br/wagner/Logica_Prog-1.pdf>. Citado na página 29.
- JUCÁ, S.; PEREIRA, R. Aplicações práticas de sistemas embarcados linux utilizando raspberry pi. *PoD Editoria*, 2018. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60918451/Livro-Aplicacoes-Praticas-Rpi20191016-13857-1jp2kma-libre.pdf?1571223807=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAplicacoes_Praticas_de_sistemas_embarcad.pdf&Expires=1761677643&Signature=SzVXRH-SUAodC0J119Zq1x6j6e-Uq80w~Cy4~QxiSVJDWVM5YgOx-fOYdLwFyDu7mZLRtSB6XC7I_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>. Citado na página 27.
- JÚNIOR, P. F. da S. et al. Desenvolvimento de front-end e back-end para nós sensores sem fio. 2025. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Silva-Junior/publication/376763873_DESENVOLVIMENTO_DE_FRONT-END_E_BACK-END_PARA_NOS_SENORES_SEM_FIO/links/6592ae6f6e450f19bc87af/DESENVOLVIMENTO-DE-FRONT-END-E-BACK-END-PARA-NOS-SENSORES-SEM-FIO.pdf>. Citado na página 29.
- LAVOR, C. F. C. d. Verificação da conformidade da qualidade da água de piscinas de acordo com a nbr 10818/2016. 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/43778/1/2019_tcc_cfclavor.pdf>. Citado na página 8.
- LEITE, M. Y. F. Plataforma de monitoramento da qualidade da água utilizando sistemas embarcados. 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/7313f04b-7ce8-4c36-b737-bd7e64caab7d/content>>. Citado 3 vezes nas páginas 15, 24 e 28.
- LIVRE, M. 2025. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/uno-r3-atmega328-atmega16u2-compativel-com-arduino--cab-usb/up/MLBU1971029436?pdp_filters=item_id:MLB2696986084&matt_tool=44747869&matt_internal_campaign_id=&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=22603531439&matt_ad_group_id=183641039649&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=758138322197&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=614220056&matt_product_id=MLB2696986084&matt_product_partition_id=2424646252682&matt_target_id=aud-1966490908987:pla-2424646252682&cq_src=google_ads&cq_cmp=22603531439&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gad_campaignid=22603531439&gclid=Cj0KCQiA_8TJBhDNARIsAPX5qxTFFrnFSaupCXUFPgzABkacpcXV8KTq2u-UvU-H4bR6HVldZO6Xbd4aAndwcB>. Citado na página 43.
- LTDA, G. Q. I. *Guia completo para tratamento de águas de piscinas residenciais*. 3. ed. São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.itaicipiscinas.com.br/images/dicas/guia_genco.pdf>. Citado na página 17.

- LUCIFABIO, E. M. et al. Aquário automatizado. 091, 2023. Disponível em: <<http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/bitstream/123456789/13360/1/TCC%20-%20AQUÁRIO%20AUTOMATIZADO-2023.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 29.
- MOREIRA, W. A. Processos tradicionais de desenvolvimento de software. 2025. Disponível em: <https://www.cin.ufpe.br/~processos/TAES3/Livro/00-LIVRO/01-PTDS-v7_CORRIDO_Versao_Final_OK.pdf>. Citado na página 31.
- MURATORI, J. R.; BÓ, P. H. D. Capítulo i automação residencial: histórico, definições e conceitos. *O Setor elétrico*, p. 70–77, 2011. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2011/04/Ed62_fasc_automacao_capI.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- OLIVEIRA, G. F.; ALVES, M. C. O. Domótica: substituição da fiação de retorno nas instalações elétricas por cabeamento de dados e sistemas microcontrolados. *SITEFA*, v. 2, n. 1, p. 391–403, 2019. Disponível em: <<https://publicacoes.fatecsertaozinho.edu.br/sitefa/article/view/61/66>>. Citado na página 23.
- OLIVEIRA, L. M. S. d. et al. Automação da área de lazer. 098, 2023. Disponível em: <<http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/bitstream/123456789/16441/1/AUTOMAÇÃO%20DE%20ÁREA%20DE%20LAZER.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 10 e 11.
- PH, S. 2025. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/sensor-ph--modulo-de-leitura-ph4502c--eletrodo-sonda-bnc/up/MLBU1980928920?pdp_filters=item_id:MLB3653757443>. Citado na página 40.
- PI, R. 2025. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>>. Citado na página 44.
- PISCINAS, E. *A História da Piscina*. 2025. Accessed: 01/07/2025. Disponível em: <<https://www.engevilpiscinas.com.br/historia-da-piscina/>>. Citado na página 12.
- PISKE, O. R. Rup-rational unified process. http://www.angusyoung.org/arquivos/artigos/trabalho_rup.pdf. Último acesso em, v. 16, n. 11, p. 2009, 2003. Disponível em: <https://www.angusyoung.org/arquivos/artigos/trabalho_rup.pdf>. Citado na página 31.
- Pool News. Pool automation opportunity for pool owners. *Pool Magazine*, march 2020. Acesso em: 12/12/2025. Disponível em: <<https://www.poolmagazine.com/features/pools/pool-automation-opportunity-for-pool-owners/>>. Citado na página 8.
- REPORT, M. *Automação residencial cresceu 21,8%*. 2024. Accessed: 27/05/2025. Disponível em: <<https://www.moneyreport.com.br/negocios/automacao-residencial-cresceu-218/>>. Citado na página 8.
- SILVA, E. L. S.; FERNANDES, S. C. *Automação de telescópio dobsoniano para a democratização do ensino da astronomia*. 104 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas)) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Formosa, 2025. Departamento de Áreas Acadêmicas. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27 e 30.

- SILVA, S. M. Estudo de caso sobre o processo de tratamento de água em uma piscina industrial de testes hidrostáticos. *Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)-Instituto Politécnico, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé*, 2021. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/16271/1/TCCSMSilva.pdf>>. Citado na página 17.
- SOUZA, M. V. A. d. Desenvolvimento em react: a influência de clean code e design patterns na visão dos desenvolvedores. 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/80355/1/2025_tcc_mvasousa.pdf>. Citado na página 30.
- SOUZA, M. O. Sensor de nível tipo deslocador com autocompensação da densidade do líquido. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2018. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/9568/2/MATHEUS_OLIVEIRA_SOUSA.pdf>. Citado na página 28.
- SULIMANN, C. E. D.; HAUPT, L. *Automatização do processo de tratamento de piscinas: aplicação de reagentes e limpeza da água*. Luzerna, SC: Instituto Federal Catarinense, 2014. Projeto de Iniciação Científica. Citado na página 11.
- TURBIDEZ, S. 2025. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/sensor-de-turbidez-para-arduino-st100--modulo-de-leitura/up/MLBU3361510673?pd_filters=item_id:MLB4164345711>. Citado na página 41.
- VASCONCELOS, A. L. M. Concepção de um sistema para a metodologia sala de aula aberta da universidade de pernambuco. 2025. Disponível em: <<https://www.ecomp.poli.br/ListaTCC/20182/Artur%20Luiz%20Mendonca%20Vasconcelos.pdf>>. Citado na página 31.
- VASCONCELOS, A. M. L. D. et al. Introdução à engenharia de software e à qualidade de software. *Minas Gerais: Universidade Federal de Lavras*, 2006. Disponível em: <http://nti.facape.br/jocelio/es/apostilas/Mod.01.MPS_Engenharia&QualidadeSoftware_V.28.09.06.pdf>. Citado na página 31.