

INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA -  
IFPB  
CAMPUS CAMPINA GRANDE  
ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO  
SISTEMAS EMBARCADOS

**RELATÓRIO: CONTROLADOR DE TEMPERATURA PARA  
RESERVATÓRIOS DE ÁGUA AQUECIDOS PELA LUZ SOLAR**

Grupo 2

Campina Grande, Junho de 2023

**Alunos:**

Antonio Gabriel Araujo Silva,  
Caíque de Oliveira Sousa e  
João Edinaldo G. dos Santos Jr.

**Professor:**

Dr. Me. Alexandre Sales Vasconcelos  
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB

**Palavras-chave:** sistemas embarcados, aquecimento de água, controle, bomba d'água, microcontrolador.

# 1 INTRODUÇÃO

## CONTEXTO

O gerenciamento da temperatura da água através de sistemas de energia solar tem sido cada vez mais valorizado, embora possa parecer simples à primeira vista, sua relevância tem sido comprovada, como apontado por Porras-Pietro, Mazarrón, Mozos e García (2014).

Eles[SWH(solar water heaters) - aquecedores solares de água] fornecem uma alternativa aos sistemas convencionais de aquecimento de água que funcionam com fontes de energia não renováveis. Naturalmente, isso significa que os SWH produzem menos poluição ambiental do que sistemas que requerem a queima de combustíveis fósseis. Com os rápidos avanços na sociedade, uma temperatura mais alta da água é necessária em várias aplicações, como ar condicionado, refrigeração, aquecimento predial, dessalinização da água do mar e aquecimento industrial, entre outros. No ambiente industrial, a temperatura e o volume de água necessários – e quando é necessário – diferem de um processo para outro. No entanto, até o momento, a maioria dos estudos sobre SWH se concentrou na produção de água a menos de 60 °C para uso doméstico. (Tradução nossa)

Além disso, devido à sua localização tropical e extensão territorial, o Brasil possui um notável potencial para a exploração dessa tecnologia (Milton & Kaufman, 2005). Diante dessas considerações, o objetivo deste trabalho é implementar essa tecnologia como uma atividade prática de sistemas embarcados, de forma a permitir a reprodução de eventos lúdicos que não podem ser replicados em sala de aula, como o uso de painéis solares e reservatórios de água, conforme corresponda às experimentações descritas neste documento.

## DESCRIÇÃO

Esse sistema tem como objetivo medir a temperatura e nível da água de uma caixa d'água, e sua temperatura por meio de sensores. O controle e processamento dessas informações ocorrerão por parte de um microcontrolador ESP32. Este sustentará regras a respeito do sistema, e será responsável pelo controle tanto de

dispositivos de saída - interface homem-máquina-, como dos atuadores responsáveis pelo controle da resistência do atuador sobre a temperatura da água no reservatório , e a atuação de uma bomba d'água.

Como mencionado acima, a fim de romper as barreiras da viabilidade, e manter a ludicidade do projeto, usaremos da abstração de alguma ideias sugeridas, sendo elas o uso e implementação dos atuadores citados, e a alimentação por placas solares.

Os objetivos são:

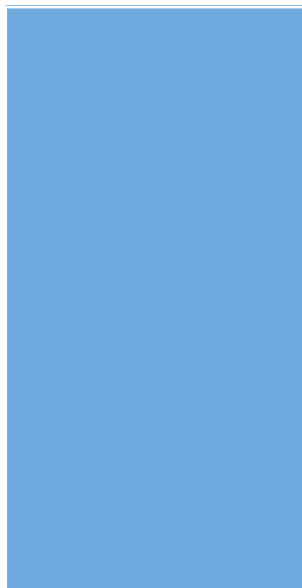
1. O rastreamento das informações responsáveis pelo controle da temperatura da água para verificação dos estado, controle e funcionamento do produto;
2. Exibir o nível de água no reservatório, dependendo do nível em que esteja uma bomba deverá ser acionada para encher a caixa d'água até um nível determinado pelo usuário via interface;
3. Exibir a temperatura da água no reservatório:
  - a. Caso a temperatura da água não esteja de acordo com o que foi definido pelo usuário, o sistema deverá aquecer a água;
  - b. Caso o nível atual de água na caixa d'água seja inferior a 10% de sua capacidade total, a resistência não poderá ser acionada.
4. Possibilitar que o usuário defina, via botões, um limite até onde a bomba estará acionada quando for encher a caixa d'água;
5. Possibilitar que o usuário defina, via botões, o valor de temperatura mínimo em que a água deva estar;
6. Impedir que o valor de temperatura definido pelo usuário seja inferior a 10 ou superior a 50;
7. Impedir que o valor do nível da caixa d'água definido pelo usuário seja inferior a 10 ou superior a 100.

## 2 CASOS DE USO

As interações entre sistema e os atores envolvidos, a fim de atingir os objetivos propostos, estão estruturados no quadro a seguir.

01 - Medição da temperatura na caixa d'água	Descrição	Receberemos o referente à leitura da temperatura atual da água contida na caixa d'água do sistema hidráulico da casa	
	Ator(es)	Sensor de temperatura	
	Condições		
	Pré	Pós	
	Nenhuma	O microcontrolador decide se a temperatura atual da água é ideal ou precisa ativar atuadores responsáveis por controlar a temperatura	
	Requisitos		
	Funcionais	Não-Funcionais	
	Receber o sinal digital enviado pelo sensor a cada 1 minuto	Garantir que pelo menos 95% das medições feitas em uma hora estejam dentro da margem de erro do sensor.	

02 -Leitura de sinal de proximidade, referente ao nível da água na caixa d'água	Descrição	Um sensor de proximidade acoplado à tampa da caixa, deve enviar ao microcontrolador sua leitura da proximidade atual do volume de água.	
	Ator(es)	Sensor ultrassônico	
	Condições		
	Pré	Pós	
	Nenhuma	Executar métodos responsáveis por calcular o	



volume de água

Requisitos	
Funcionais	Não-Funcionais
Envio do sinal de proximidade	Envio frequente do sinal, em período que a leitura do volume seja eficaz  Envio de um sinal crítico, em caso da água estar próxima demais do sensor, de forma que possa comprometer sua integridade.

03 - Cálculo do nível atual da água

Descrição	Com base em medidas pré configuradas, e o sinal recebido do sensor de proximidade, o microcontrolador deve calcular o atual nível ocupado pela água.	
Ator(es)	Microcontrolador	
Condições		
Pré	Pós	
Leitura da proximidade da água	Resultado do volume atual ocupado	
Requisitos		
Funcionais	Não-Funcionais	
Calcular o nível de que a água	Em caso de ausência da pré-configuração das medidas, exibir no mínimo, o valor referente à distância da água em relação ao sensor.	

04 -Ativação do atuador de controle de

Descrição	Com base nas leituras prévias de temperatura, o microcontrolador deve decidir quando ativar o atuador que controla a vazão da água quente para o
-----------	--

temperatura		sistema hidráulico da casa.
	Ator(es)	Microcontrolador, e atuador de controle de temperatura
	Condições	
	Pré	Pós
	Medição	
	Requisitos	
	Funcionais	Não-Funcionais

05 -Ativação do atuador de controle do nível da água	Descrição	Com base no cálculo do nível atual da água, previamente feito, o microcontrolador deve decidir se a bomba de água que abastece a caixa deve ser ligada ou não. Em caso de recebimento de determinado sinal crítico enviado diretamente do sensor, o abastecimento deve ser interrompido de imediato
	Ator(es)	Microcontrolador; bomba de água
	Condições	
	Pré	Pós
	Cálculo de volume atual de água	Ativação ou interrupção da bomba de abastecimento de água
	Requisitos	
	Funcionais	Não-Funcionais

A bomba deve ser ligada em caso de nível abaixo do especificado.  
A bomba deve ser desligada em caso de nível abaixo do especificado.

06-Implementação de módulo de interface Homem-Máquina	Descrição	Implementação de componentes eletrônicos que viabilizem a interação Homem-máquina. Integração de um display Oled que exibe as informações de leituras feitas pelos sensores. Integração de botão para definir nível máximo da capacidade da caixa d'água. Integração de botão para definir valor mínimo da temperatura da água. Integração de botão para definir qual valor (temperatura ou nível da água) o usuário deseja alterar. Integração de botão que possibilita a interrupção manual de ambos os módulos atuadores que estejam em funcionamento.	
	Ator(es)		
	Condições		
	Pré	Pós	
	1 - Medição de temperatura atual e medição do volume de água atual; 2 - Recepção de sinal emitido por botão de interrupção. 3 - Recepção de sinal emitido por botão de adição de valor. 4 - Recepção de sinal emitido por botão de subtração de valor. 5 - Recepção de sinal emitido por botão de seleção de valor a ser alterado.	1- Exibição dos valores medidos no display LCD. 2- Interrupção do funcionamento dos atuadores 3 - Aumentar de 5 em 5 o valor do nível da caixa d'água ou aumentar de 1 em 1 o valor da temperatura mínima. 4 -Diminuir de 5 em 5 o valor do nível da caixa d'água ou diminuir de 1 em 1 o valor da temperatura mínima. 5 - Alternar entre a edição do valor de temperatura ou nível de água.	
	Requisitos		
	Funcionais	Não-Funcionais	
	Possibilidade de interrupção dos módulos atuadores ao		





pressionar o botão.  
Exibição dos últimos dados  
medidos no módulo de  
display

### 3 RELATÓRIO E MATERIAIS

A presente seção tem como objetivo descrever os materiais utilizados e apresentar a metodologia decorrente no projeto de hardware para o desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle de temperatura e nível de água em uma caixa d'água. Para isso, foram selecionados os seguintes componentes: o sensor de temperatura DS18B20, o sensor ultrassônico HC-SR04, um módulo com 2 relés, 1 display OLED, 3 botões, 1 microcontrolador ESP 32 e 2 LEDs.

O sensor de temperatura DS18B20 foi escolhido devido à sua precisão e facilidade de integração com o microcontrolador. Com esse sensor, é possível medir com precisão a temperatura da água no reservatório. Por sua vez, o sensor ultrassônico HC-SR04 foi utilizado para medir o nível de água no reservatório. Ao emitir um pulso ultrassônico e calcular o tempo de retorno do eco, esse sensor é capaz de determinar a distância entre o sensor e o nível da água.

Além disso, o sistema conta com um módulo com 2 relés, que desempenha um papel fundamental no controle da resistência do aquecedor da água e na atuação da bomba d'água. Esses relés permitem ligar e desligar os dispositivos de acordo com as necessidades do sistema. Para a interface homem-máquina, foi utilizado um display OLED, que exibe informações relevantes, como temperatura da água, nível do reservatório e status do sistema, proporcionando uma interação visual para o usuário.

O microcontrolador ESP32 foi selecionado como a plataforma principal para o processamento das informações e o controle do sistema. Devido à sua capacidade de processamento e conectividade, o ESP32 se mostrou adequado para esse projeto. Com relação aos LEDs, foram utilizados 2 no sistema. Estes LEDs indicam o acionamento da bomba d'água e da resistência do aquecedor. Quanto à metodologia adotada, foi empregada uma abordagem sequencial fragmentada. Inicialmente, o circuito foi desenhado levando em consideração as especificações dos componentes utilizados. Em seguida, o microcontrolador ESP 32 está sendo programado em linguagem C utilizando o ambiente de desenvolvimento VSCode ESP-IDF. Essa

programação inclui as tarefas de leitura dos sensores, controle dos atuadores e interação com o display OLED.

A implementação do sistema foi desafiadora devido a diversos obstáculos enfrentados pelos alunos envolvidos no projeto. Um dos principais desafios é o tempo limitado disponível para absorver todos os conteúdos necessários. Os conceitos complexos relacionados ao desenvolvimento de projetos de hardware têm exigido um esforço adicional para amadurecer o conhecimento necessário dentro do prazo estabelecido.

Além disso, a obtenção e aproximação dos equipamentos tem sido uma tarefa difícil. Onde, na aquisição dos componentes necessários, foi encontrada certa resistência. Ainda assim, foram tomadas medidas para superar essa dificuldade e garantir a disponibilidade dos materiais essenciais para a implementação do sistema.

Em estágios iniciais do projeto, foram realizadas simulações parciais na plataforma online Wokwi. Essa abordagem permitiu a execução de testes e validações em partes das funcionalidades do sistema antes de sua implementação física.

Vale ressaltar, durante o primeiro contato com o componente de LCD disponibilizado pelo professor, encontraram-se alguns desafios de implementação. Consideramos a curva de aprendizado exigida, uma questão que acabaria se tornando um bloqueio para o progresso do projeto. Após uma análise cuidadosa, a equipe decidiu adotar uma alternativa, que consideramos mais simples de implementar. Sendo esta, a utilização de um componente de OLED e três botões distintos. Essa escolha estratégica permitiu o foco no desenvolvimento e integração desses elementos de forma mais eficiente. Embora tenha sido um desvio do plano inicial, essa decisão demonstrou ser acertada, resultando em uma implementação mais fluida e um ganho significativo em termos de tempo e esforço.

Outro desafio que podemos destacar, diz respeito ao sensor ultrassônico, quando a distância era cerca de 2.5 cm, o dispositivo se mostrava impreciso então algumas abordagens foram feitas pela equipe com o objetivo de tratar essa situação.

Em suma, a utilização dos materiais mencionados, juntamente com a metodologia adotada, visam alcançar um sistema eficiente e confiável de

monitoramento e controle de temperatura e nível de água. A implementação do sistema foi conduzida com inquietude e busca por soluções para superar os desafios encontrados, sendo: a absorção dos conteúdos necessários pelos trabalhadores do projeto, a aquisição dos equipamentos, as simulações realizadas e a integração do sistema físico como um todo.

### 3.1 ATIVIDADES EXECUTADAS

1. Criação do componente responsável por medir a temperatura;
2. Criação do componente responsável por medir a distância em centímetros;
3. Criação do componente responsável por exibir as informações no display OLED;
4. Implementação do código responsável pela leitura do valor da temperatura medido pelo sensor DS18B20 utilizando uma biblioteca de terceiros (ds18b20);
5. Implementação do código responsável pela leitura do valor da distância medido pelo sensor HC-SR04;
6. Implementação da decisão de acionamento da bomba caso o valor atual do nível da água seja inferior a 10% da capacidade da caixa;
7. Implementação da decisão de acionamento da resistência caso o valor atual da temperatura da água seja inferior a um valor definido anteriormente.
8. Implementação do código do display Oled ssd1306, responsável por exibir as informações sobre os valores de nível da água e temperatura. Além dos valores que o usuário pode controlar via botões.

### 3.2 REGISTRO DOS COMPONENTES

Materiais	Quantidades
DS18B20	1
HC-SR04	1
Módulo com 2 relés	1

Resistores	4
Esp 32	1
Display Oled ssd1306	1
LEDs (cores a definir)	2
Push buttons	3

### 3.3 REGISTRO DAS BIBLIOTECAS

Bibliotecas	Documentação
ds18b20	<a href="https://github.com/feelfreelinux/ds18b20">https://github.com/feelfreelinux/ds18b20</a>
hc-sr04	<a href="https://github.com/ESP32Tutorials/HC-SR04-Ultrasonic-Sensor-with-ESP32-ESP-IDF/tree/main/Ultrasonic_sensor_esp-idf">https://github.com/ESP32Tutorials/HC-SR04-Ultrasonic-Sensor-with-ESP32-ESP-IDF/tree/main/Ultrasonic_sensor_esp-idf</a>
ssd1306	<a href="https://github.com/nopnop2002/esp-idf-ssd1306">https://github.com/nopnop2002/esp-idf-ssd1306</a>

## 4 RESULTADOS

Por fim, com o protótipo implementado nessa disciplina, conseguimos interseccionalizar os processos de leitura dos valores de temperatura atual do ambiente e a distância do sensor ultrassônico da água - que permitem informar as condições atuais do reservatório - com o sistema de tomada de decisão que gerencia os recursos hídricos. Para mais, além de valores predefinidos na compilação e gravação do *firmware* no *hardware*, também foi possibilitado que um usuário parametrize as variáveis de níveis - no caso, máximo e mínimo - da caixa d'água e um valor de temperatura que quando a temperatura atual for menor que o definido os atuadores responsáveis serão acionados. Desta maneira, tem-se como resultado um dispositivo de controle acessível e que atenda as especificidades de quaisquer aplicações que sejam.

## **5 CONCLUSÃO**

Em conclusão, o projeto de hardware para o sistema de monitoramento e controle de temperatura e nível de água em uma caixa d'água foi completado. E, apesar dos desafios, a equipe superou obstáculos e obteve os resultados almejados.

Assim, o sistema desenvolvido oferece uma solução prática para o monitoramento e controle da temperatura e nível da água. Com medições suficientemente precisas, o sistema permite a tomada de decisões adequadas para o gerenciamento de água, para melhorias adicionais, como a exploração de recursos adicionais e a otimização do consumo de energia. No geral, o protótipo demonstrou ser viável e promissor, neste contexto, contribuindo para a gestão eficaz da água em uma caixa d'água.

## 6 REFERÊNCIAS

- Milton & Kaufman, 2005. **Solar Water Heating as a Climate Protection Strategy: The Role for Carbon Finance**. Green Markets International. Arlington MA, USA.
- C. J. Porras-Prieto, F. R. Mazarrón, V. Mozos, J. L. García, 2014. **Influence of required tank water temperature on the energy performance and water withdrawal potential of a solar water heating system equipped with a heat pipe evacuated tube collector**. Solar Energy. Volume 110. 2014. Pgs 365-377.