

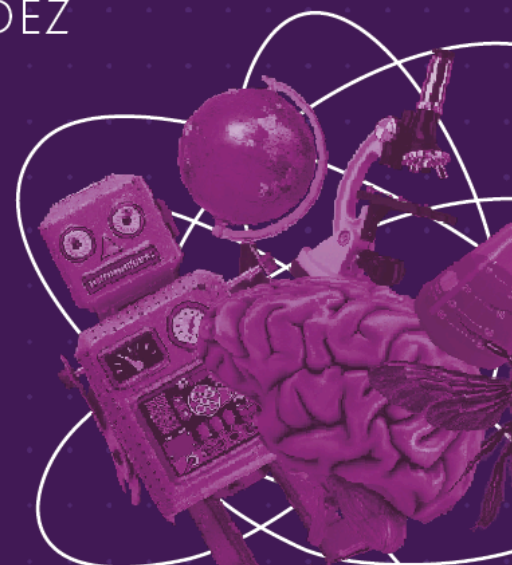
REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA CINZA DE MÁQUINAS DE LAVAR ROUPA COM VÁLVULA PROGRAMÁVEL

Professor orientador: Miguel Archanjo Bacellar Goes
Telles Junior

Alunos: Alice Rodrigues Soares e Lucas Alberto
Borges de Almeida

PROGRAMA DE
INICIAÇÃO CIENTÍFICA
PIC/CEUB

RELATÓRIOS DE PESQUISA
VOLUME 10 Nº 1- JAN/DEZ
2024



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA - CEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

**ALICE RODRIGUES SOARES
LUCAS ALBERTO BORGES DE ALMEIDA**

**REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA CINZA DE MÁQUINAS DE LAVAR ROUPA
COM VÁLVULA PROGRAMÁVEL**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pesquisa e Extensão.

Orientação: Miguel Archanjo Bacellar
Goes Telles Junior

**BRASÍLIA
2025**

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a todas as pessoas que, muitas vezes, permanecem à margem das decisões e inovações, especialmente aquelas em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Esta é também uma homenagem à pesquisa que persiste, mesmo diante de desafios estruturais, e que busca caminhos para o bem comum, valorizando a vida, a dignidade humana e o equilíbrio com o meio ambiente.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao professor orientador Miguel Archanjo Bacellar Goes Telles Junior e à agência de fomento pelo apoio, orientação e confiança depositados ao longo do desenvolvimento deste projeto. Participar do programa de Iniciação Científica foi uma experiência única e extremamente enriquecedora, pois nos permitiu vivenciar, de forma prática, os desafios e as possibilidades da pesquisa aplicada. Foi muito gratificante poder desenvolver uma solução tecnológica com propósito socioambiental concreto, voltada à preservação de recursos naturais e à promoção do uso consciente da água. Valorizamos especialmente o fato de termos criado um projeto que pode beneficiar diretamente famílias, em especial aquelas de baixa renda, contribuindo para a redução de gastos com recursos essenciais. A oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos durante a graduação fortaleceu nosso comprometimento com a ciência, com a sustentabilidade e com a responsabilidade social enquanto futuros profissionais da área.

***“E, de qualquer forma, às cegas, às tontas,
tenho feito o que acredito, do jeito talvez
torto que sei fazer.”***

(Caio Fernando Abreu)

RESUMO

Diante do crescente desafio da escassez hídrica, intensificado pelo aumento populacional e pelas mudanças climáticas globais, o reuso de águas cinzas surge como uma alternativa sustentável e de baixo custo. Embora a quantidade total de água no planeta seja constante e renovada pelo ciclo hidrológico, a disponibilidade de água com qualidade para consumo está se tornando cada vez mais rara devido ao uso indiscriminado. Nesse contexto, o reaproveitamento da água cinza — efluente de atividades domésticas como a lavagem de roupas, que não contém contaminantes significativos — representa uma ação viável e de grande impacto para a preservação dos recursos hídricos. Atendendo a essa necessidade, o presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento de um dispositivo eficiente e acessível que permite o reuso automatizado da água de máquinas de lavar. Utilizando uma válvula programável controlada eletronicamente, o sistema direciona o fluxo de água dos ciclos de enxágue para fins não potáveis, como descargas e limpeza, garantindo um uso mais eficiente e sustentável do recurso. A metodologia foi de natureza aplicada, empregando a plataforma de prototipagem Arduino para criar um sistema de baixo custo. O processo de construção foi iterativo, evoluindo de uma arquitetura inicial com duas válvulas, que se mostrou inviável, para um protótipo final robusto com uma única eletroválvula solenoide e um sensor de nível. Os resultados confirmaram a eficácia do dispositivo em separar os fluxos de água de forma automática e confiável. Dessa forma, o projeto não apenas gerou uma solução tecnológica funcional, mas também validou o uso de ferramentas acessíveis para criar tecnologias sustentáveis e de fácil replicação, resultando em uma medida de grande impacto socioambiental que contribui para a redução do consumo de água potável e para a diminuição dos gastos dos usuários.

Palavras-chave: reuso de água; água cinza; sustentabilidade; automação residencial; Arduino.

LISTA DE ABREVIATURAS

- **AC** – Corrente Alternada
- **DC** – Corrente Contínua
- **EVS** – Eletroválvula Solenóide
- **IDE** – Ambiente Integrado de Desenvolvimento (Integrated Development Environment)
- **IPT** – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- **LED** – Diodo Emissor de Luz (Light Emitting Diode)
- **ODS** – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
- **ONU** – Organização das Nações Unidas
- **USB** – Universal Serial Bus

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE ABREVIATURAS | 6 |
| 1 INTRODUÇÃO | 8 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 11 |
| 2.1 Eficiência e viabilidade do reuso | 11 |
| 2.2 Tratamento e qualidade da água | 12 |
| 2.3 Automação para o reuso doméstico com Arduino | 12 |
| 2.4 Estudos de caso e impacto socioambiental | 13 |
| 2.5 Características da água cinza | 14 |
| 3 MÉTODO | 16 |
| 3.1 Desenvolvimento do software | 19 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 21 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 5 CONCLUSÃO..... | 23 |
| REFERÊNCIAS | 25 |
| APÊNDICES | 27 |
| ANEXOS | 52 |

1 Introdução

O aumento populacional acompanhado pelas mudanças climáticas globais vem contribuindo para o crescimento na demanda pelos recursos hídricos. Embora a água existente seja um recurso renovável, ela tende a se deteriorar em função do seu uso indiscriminado, o que compromete consequentemente a quantidade de água com qualidade disponível para consumo nas diversas localidades. A quantidade de água disponível no planeta é praticamente constante, já que está sendo constantemente renovada através do ciclo hidrológico — um sistema fechado em nível global, no qual a água circula continuamente entre os oceanos, atmosfera, continentes e subsolo, mudando apenas de estado físico e localização (TUCCI, 2017).

Entretanto, a água de qualidade para consumo está se tornando cada vez mais rara. Assim, a busca por possibilidades de preservação dos recursos hídricos e manutenção da qualidade da água se faz essencial. Nesse sentido, soluções tecnológicas que permitam a automatização de processos de reuso podem favorecer a minimização do uso de água potável. O reuso da água cinza da máquina de lavar roupa, por exemplo, é uma prática que pode trazer mudanças significativas e representa uma ação viável diante da necessidade urgente de preservação dos recursos hídricos. A água cinza refere-se à água proveniente de atividades domésticas, como lavagem de roupas, banhos e pias, que não contém contaminantes significativos, como fezes ou produtos químicos perigosos. Esta água pode ser tratada e reutilizada para fins não potáveis, como irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários e limpeza de pisos, o que reduz significativamente a demanda por água potável.

O presente trabalho se justifica na urgência em lidar com as consequências da má manutenção e uso de recursos hídricos, diante de décadas de negligência em relação à relevância da preservação e do uso consciente da água potável. Também se destaca a viabilidade do reuso da água cinza como uma medida eficaz e de baixo custo. Além disso, percebe-se a possibilidade de impacto socioambiental positivo, uma vez que a utilização de tecnologias para a gestão desse importante recurso, mostra o compromisso com a sustentabilidade e conservação do meio ambiente essencial à vida. Dessa forma, diante das possibilidades que o uso da tecnologia proporciona e da

necessidade do uso consciente da água, o desenvolvimento de um dispositivo que permita o reuso da água empregada nas lavagens de uma máquina de lavar doméstica representa uma medida de grande impacto socioambiental, pois possibilita o reaproveitamento da água e resulta na diminuição dos gastos dos usuários. Uma válvula programável, um dispositivo que pode ser controlado eletronicamente para regular o fluxo de líquidos em diferentes direções e momentos específicos, possibilita direcionar o fluxo de água cinza para diferentes destinos de forma automatizada e programável, garantindo um uso eficiente e sustentável desse recurso.

Este projeto foi desenvolvido no Centro Universitário de Brasília – UniCEUB, e os testes ocorreram tanto na residência dos alunos quanto no laboratório da instituição. De acordo com Sharma, Nayanam e Himani (2020), o uso de tecnologias baseadas em plataformas como o Arduino é essencial para iniciativas de preservação de recursos ambientais e representa uma alternativa acessível e viável para aplicações de baixo custo. Do mesmo modo, estudos nacionais (SOUZA, 2020) destacam que as águas cinzas podem representar até 80% do esgoto doméstico e que seu reaproveitamento contribui diretamente para a conservação hídrica.

Além disso, a escolha do uso da plataforma Arduino no projeto está diretamente alinhada aos princípios de acessibilidade e democratização do conhecimento. De acordo com o site oficial do Arduino (2025), a plataforma é uma ferramenta de prototipagem eletrônica de código aberto (open source), desenvolvida com o objetivo de tornar a eletrônica e a programação acessíveis a todos, inclusive a iniciantes e pessoas sem formação técnica aprofundada. Sua arquitetura simples e flexível, composta por hardware de baixo custo e uma interface de programação intuitiva, permite que estudantes, pesquisadores e inventores criem soluções tecnológicas com facilidade. Por essa razão, o Arduino tornou-se uma ferramenta essencial na educação tecnológica, estimulando a experimentação e a inovação em diferentes contextos. Seu uso neste projeto reforça o compromisso com o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, viáveis economicamente e de fácil replicação, principalmente em comunidades com menor acesso a recursos. Diante disso, o projeto tem como objetivo principal criar um dispositivo eficiente, acessível e de fácil instalação que facilite o reuso da água cinza proveniente de máquinas de lavar roupa, por meio da separação

de fluxos de água. Para isso, busca-se fomentar o uso de tecnologias sustentáveis e acessíveis à população, contribuir para a preservação dos recursos hídricos e a redução do desperdício de água potável, identificar os contextos sociais, econômicos e ambientais mais adequados para a aplicação da solução, além de promover o aprendizado sobre arquitetura e programação de microcontroladores, em especial a plataforma Arduino, com ênfase na integração com sensores e atuadores.

2 Fundamentação teórica

O paradigma da separação entre os seres humanos e o ambiente natural tem implicações profundas na forma como interagimos com os recursos naturais. Este ponto de vista sublinha uma dicotomia entre a civilização e a natureza, sugerindo que a sociedade moderna muitas vezes negligencia sua interdependência essencial com o mundo natural. Nesse sentido, Ailton Krenak (2019) ressalta que:

A ideia de nós, os humanos, nos descolarmos da terra, vivendo numa abstração civilizatória, é absurda. Ela suprime a diversidade, nega a pluralidade das formas de vida, de existência e de hábitos.

No contexto do projeto de reaproveitamento da água cinza, essa reflexão adquire uma relevância particular. Ao reconhecermos a interconexão entre as atividades humanas e o ambiente, podemos abordar de forma mais eficaz a questão da escassez de água e a necessidade de gerenciar nossos recursos hídricos de maneira sustentável. A quantidade de água empregada em lavagens domésticas é um ponto central, com gastos médios que podem chegar a 135 litros por ciclo em máquinas de até 10 kg e até 197 litros em modelos de 17 kg (YPE, 2023).

Conforme proposto por Leonardo Boff (Boff, 2015) em seu conceito de ecologia integral, reconhecer essa interdependência é fundamental para promover uma convivência sustentável. Nesse contexto, investir em soluções que minimizem o desperdício representa não apenas uma medida prática, mas uma expressão de uma ética ecológica.

2.1 Eficiência e Viabilidade do Reuso

A viabilidade de sistemas de reuso de água cinza em residências tem sido comprovada por diversos estudos. Em seu trabalho sobre o tema, Vergílio & Mendonça (2018) demonstram que a análise quantitativa confirma que o volume de água cinza produzido (somando-se lavatório, chuveiro e máquina de lavar) é geralmente suficiente para cobrir a demanda de pontos de reuso, como a bacia sanitária.

O resultado da implementação de tais sistemas, segundo os autores, indica uma economia significativa, reduzindo o consumo mensal de água potável e, conseqüentemente, o valor da conta de água. Vergílio & Mendonça (2018) apontam que o período de retorno do capital investido em seu estudo de caso foi de aproximadamente um ano e seis meses. Os mesmos autores ressaltam que a viabilidade pode variar conforme fatores como o clima da região, a renda familiar, o número de usuários na residência e o valor da tarifa de água local.

2.2 Tratamento e Qualidade da Água

Para que a água cinza seja reutilizada com segurança, ela deve passar por um tratamento que a adeque aos fins não potáveis. No Brasil, a norma NBR 13.969/1997 estabelece os parâmetros de qualidade para diferentes modalidades de reuso. Adicionalmente, diretrizes como as da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP, 2005) determinam condições mínimas para o uso em descargas sanitárias, exigindo que a água não apresente mau cheiro, não manche superfícies, não danifique metais sanitários e não cause riscos à saúde.

Para atender a esses requisitos, um sistema de tratamento comum e economicamente acessível envolve duas etapas principais:

- **Filtração:** A água passa por um filtro (frequentemente de areia) para reter partículas sólidas maiores, como fios de cabelo e resíduos de tecidos.
- **Desinfecção:** Em seguida, realiza-se a cloração, com a adição de cloro (geralmente em pastilhas) para garantir que a água esteja isenta de bactérias e vírus prejudiciais.

A manutenção de um sistema como este é relativamente simples, consistindo na limpeza periódica do filtro e na troca mensal da pastilha de cloro.

2.3 Automação para o Reuso Doméstico com Arduino

A automação é um fator chave para viabilizar e simplificar o reuso de água no ambiente doméstico. O uso de tecnologias acessíveis, como a plataforma Arduino, é essencial

para criar sistemas de baixo custo e alta eficiência. O Arduino, como microcontrolador, caracteriza-se como parte fundamental do projeto, sendo responsável por interpretar os dados dos sensores e acionar atuadores para distribuir a água de forma inteligente. A programação do dispositivo deve ser bem estruturada para garantir a correta separação dos fluxos de água e facilitar a identificação de falhas.

Estudos internacionais, como o de Sharma, Nayanam e Himani (2020), demonstram a aplicação bem-sucedida do Arduino em sistemas de gerenciamento inteligente de água, destacando seu custo-benefício, adaptabilidade e facilidade de implementação em contextos domésticos.

Na literatura, é comum encontrar sistemas que utilizam um motor-bomba para conduzir a água tratada a um reservatório superior, de onde ela alimenta as descargas. Frequentemente, esses sistemas também incluem um extravasor, um mecanismo de segurança para direcionar o excesso de água à rede de esgoto e evitar transbordamentos.

2.4 Estudos de Caso e Impacto Socioambiental

Casos práticos internacionais validam o potencial e os desafios dos sistemas de reuso. Um estudo de campo no Canadá (Craig & Richman, 2015) demonstrou uma economia média de 40,9 litros de água potável por pessoa por dia, mas também apontou desafios como um longo período de retorno do investimento (11-52 anos), o que reforça a necessidade de desenvolver sistemas de baixo custo, como o proposto neste projeto. Considerando esses fatores, foi elaborado um apêndice (Apêndice A) com uma análise da viabilidade e do impacto ampliado desse tipo de sistema quando implementado em contextos de uso coletivo, como projetos habitacionais, onde seu potencial de economia e retorno sobre o investimento se tornam significativamente mais expressivos.

Além do benefício econômico, o reuso da água cinza gera uma série de benefícios ambientais. A prática resulta em economia de energia elétrica e menor produção de esgoto sanitário. Essa redução contribui para a sustentabilidade hídrica, sendo especialmente relevante no contexto brasileiro, onde muitas cidades ainda lançam esgoto doméstico diretamente nos rios. A aplicabilidade de sistemas conservacionistas como este é um caminho para que se alcance a sustentabilidade dos recursos hídricos

e está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (ONU, 2015), especialmente os seguintes:

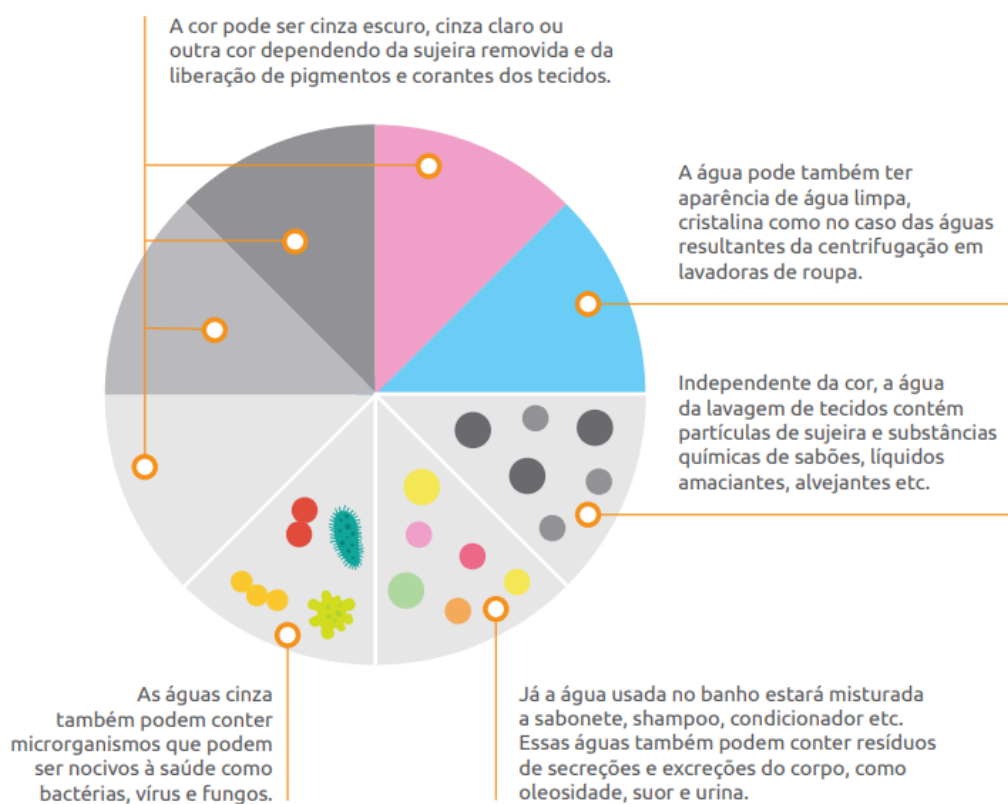
- **ODS 6 – Água potável e saneamento:** garantir disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos;
- **ODS 11 – Cidades e comunidades sustentáveis:** tornar os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
- **ODS 12 – Consumo e produção responsáveis:** assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;
- **ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima:** tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.

2.5 Características da Água Cinza

A água cinza é definida como o efluente proveniente de atividades domésticas como banho, lavagem de roupas e pias, excluindo as águas negras oriundas de vasos sanitários. Seu potencial para reuso reside nas propriedades físicas e químicas que a diferenciam, assim como nos cuidados necessários para seu tratamento. Compreender essas características é fundamental para dimensionar corretamente os sistemas de tratamento e assegurar a qualidade da água reutilizada, evitando riscos à saúde e danos aos equipamentos.

A imagem a seguir apresenta uma síntese das principais características da água cinza, destacando aspectos como a composição, parâmetros de qualidade e potenciais contaminantes típicos, conforme o Manual para aproveitamento emergencial de águas cinza do banho e da máquina de lavar, elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2020).

Características das águas cinza



FONTE: IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológicas – Manual para aproveitamento emergencial de águas cinza do banho e da máquina de lavar. Pg. 07.

3 Método

A presente pesquisa é de natureza aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para a solução dirigida de um problema específico: o aproveitamento da água cinza de máquinas de lavar roupa. Para isso, foi adotada uma abordagem de pesquisa exploratória para estabelecer critérios, métodos e técnicas, além de orientar a formulação de hipóteses para o desenvolvimento do hardware e do software. A pesquisa teve também um caráter qualitativo, descrevendo as características da situação e ajudando na resolução dos problemas encontrados. O trabalho foi configurado como um estudo de caso, utilizando a pesquisa experimental para observar fatores que poderiam alterar o funcionamento do dispositivo.

O objeto de estudo foi a viabilidade do reaproveitamento da água da máquina de lavar, observando seus benefícios ambientais e econômicos. A pesquisa foi realizada em dois locais principais: na residência dos estudantes, para testes práticos com o protótipo, e no laboratório do CEUB, para desenvolvimento e experimentação.

Nesse contexto, foi adotado o uso de múltiplos paradigmas de programação na construção do código, com destaque para os paradigmas imperativo, funcional e modular.

Primeiramente, o paradigma imperativo é caracterizado pela definição sequencial e explícita de instruções que o sistema deve executar, como leitura de entradas, verificação de condições e controle de atuadores.

Ademais, o paradigma funcional está presente de forma parcial, especialmente no tratamento de entradas do usuário e na lógica condicional. As funções seguem o princípio de previsibilidade de funções puras: um mesmo conjunto de entradas leva consistentemente ao mesmo resultado.

Por fim, o paradigma modular foi empregado por meio da organização do código em funções com responsabilidades bem definidas, o que contribui para a legibilidade, manutenção e reutilização do código. A separação lógica entre as funções responsáveis pela leitura de sensores, controle da válvula e gerenciamento de estados reforça essa escolha.

“Modularidade é a manifestação mais comum da separação por interesses. O software é dividido em componentes separadamente especificados e localizáveis, algumas vezes denominados módulos, que são integrados para satisfazer os requisitos de um problema. [...] ‘Modularidade é o único atributo de software que possibilita um programa ser intelectualmente gerenciável’” (PRESSMAN; MAXIM, 2021, p. 163).

Os procedimentos metodológicos seguiram uma abordagem iterativa, marcada pela testagem contínua e evolução da arquitetura do protótipo, conforme detalhado nas fases a seguir.

Fase 1: Pesquisa Inicial e Primeira Arquitetura

O trabalho iniciou-se com uma revisão bibliográfica aprofundada e a realização de pequenos projetos em Arduino para consolidar o conhecimento sobre a plataforma. O objetivo inicial era desenvolver um sistema capaz de separar e reaproveitar os dois principais fluxos de água: o da primeira lavagem e o do ciclo de enxágue. A primeira arquitetura proposta utilizava duas válvulas para direcionar cada fluxo a um reservatório distinto, os quais eram simulados por um software com base no uso de variáveis para identificar as escolhas do usuário e manipular as respostas do sistema com o intuito de cobrir todos os casos de uso no escopo estabelecido. Contudo, os testes revelaram que a válvula selecionada não era adequada para operar sem pressão, resultando em uma vazão de água insuficiente (gotejamento). A solução exigiria uma bomba d'água, o que ia contra o objetivo de criar uma solução acessível e ecológica.

Fase 2: Reavaliação Estratégica e Segunda Arquitetura

Diante do desafio, a equipe reavaliou a estratégia e concluiu que o reaproveitamento exclusivo do segundo fluxo de água (enxágue) e do terceiro (enxágue extra) seria mais vantajoso. Essa decisão levou ao desenvolvimento de uma segunda arquitetura, mais simples, utilizando uma única eletroválvula solenóide (EVS) controlada eletronicamente para permitir ou bloquear a passagem da água, eliminando a necessidade de uma bomba.

Assim, foram-se alterados a arquitetura e lógica para salvar os fluxos de água no

hardware, o que implicou na criação de um novo programa para acompanhar e tratar as mudanças. Nesse prisma, o novo sistema garantiu novas regras de funcionamento como o redirecionamento de fluxos com uma única válvula, adição de uma forma de reiniciar o programa sem desligá-lo, novas formas de receber os dados do usuário e uso de novas variáveis para controlar o sistema de contagem de fluxos. Ademais, esse sistema deixou de simular a entrada do usuário e permitiu a interação do hardware com o software, o que provou ser desafiador, visto que mais variáveis foram colocadas no escopo de produção.

O protótipo final foi fisicamente dividido em duas partes principais:

1. **Unidade de Controle Eletrônico:** Alojada em uma caixa protetora externa, esta unidade centraliza a parte inteligente do sistema, composta por um microcontrolador Arduino Pro Mini, um módulo relé e uma interface de controle com switches e LEDs.
2. **Conjunto Hidráulico:** Composto por um galão de 5 litros modificado para integrar a válvula solenoide, um sensor de nível (boia) interno para detectar o fluxo, uma flange de $\frac{3}{4}$ e uma junção em Y para a conexão entre o galão e a EVS e as conexões para a mangueira da máquina.

Fase 3: Desafios Técnicos e Ajustes

Mesmo com a arquitetura final definida, a fase de testes revelou novos desafios. No hardware, foram observados problemas de mau contato nas conexões soldadas do Arduino, exigindo reforço para garantir a estabilidade elétrica. No software, a lógica de ativação da boia apresentou instabilidade devido ao seu movimento irregular na água, o que exigiu ajustes no código para tornar a detecção mais robusta e confiável.

Além disso, houve dificuldades na utilização de parâmetros de debug dentro da plataforma Arduino IDE, o que motivou a criação de um método dedicado para exibir mensagens no terminal, facilitando o acompanhamento da execução do programa. Também foi identificado um problema na continuidade do funcionamento do sistema, sendo necessária a substituição completa do método anterior por uma nova abordagem que reinicia o produto após cada uso.

Para garantir a confiabilidade dos componentes, foram desenvolvidos módulos específicos para testar individualmente as partes físicas do projeto — como a válvula com relé, a boia, os switches e os LEDs — possibilitando a verificação da integridade de cada componente e das conexões entre eles.

Como principal instrumento de coleta de dados, utilizaram-se os experimentos e testes realizados diretamente pelos estudantes. Essas atividades, conduzidas na IDE do Arduino por meio da simulação de múltiplas variáveis, foram essenciais para observar, identificar e corrigir os erros tanto de hardware quanto de software, validando, assim, a viabilidade da arquitetura final proposta.

3.1 Desenvolvimento do Software

Primeira Arquitetura

Para a criação do software considerou-se a lógica proposta pela arquitetura do hardware vigente, assim foram criadas duas grandes formatações para o software e dentro de cada uma vários versionamentos.

Nesse contexto, o primeiro código desenvolvido contou apenas com simulações, visto que o hardware ainda não permitia a captura da entrada de informações do usuário, assim variáveis foram alocadas para fazer esse papel e testar recursos do hardware, como a boia e as válvulas da primeira arquitetura. Contudo, tal abordagem fora mudada, pois verificou-se que a válvula que estávamos a utilizar não apresentava vazão suficiente, o que implicou na sua troca. Não obstante, esse impedimento implicou na reestruturação do hardware, pois foi encontrada uma forma mais eficiente de salvar os ciclos e julgou-se desnecessário salvar o primeiro ciclo. Assim, finalizou-se o processo da primeira etapa do software, a qual garantia o uso de duas válvulas e um processo representado por variáveis para simular a entrada de informações por parte do usuário.

Segunda Arquitetura

Após a reavaliação do hardware, verificou-se que podíamos utilizar apenas uma válvula para redirecionar os fluxos, o que mudou o software por inteiro. Dessa forma, o

segundo código foi desenvolvido para lidar com apenas uma válvula, o que aumentou as linhas de código e complexidade do mesmo. Logo, foi utilizado o mesmo princípio de funcionamento com variáveis que simulam a entrada do usuário para criar a base de funcionamento.

Ademais, durante essa etapa, verificaram-se erros no hardware, como conexões soltas entre barramentos e barramentos defeituosos, os quais conectam os periféricos ao Arduino, o que levou à criação de testes para o funcionamento da boia e da válvula, para garantir que a conexão dos mesmos estivesse funcionando corretamente.

Por fim, foram-se adicionados meios de detecção da entrada do usuário, o que garantiu outra versão para identificar essa entrada e tratá-la, assim foram-se adicionadas novas variáveis para guardar as entradas do usuário e para atualizá-las conforme o programa tratava-as.

Arquitetura Final

Após a integração de todos os componentes do hardware com o software, começaram os estudos de casos aplicados ao software. Nesta etapa, percebeu-se que o código não lidava corretamente com a forma de reiniciar o sistema, o que garantiu uma nova forma de atualizar as variáveis utilizadas e, dessa forma, foi criada uma nova versão que utiliza bandeiras, as famosas flags, para identificar o estado de certos processos. Ademais, dedicou-se um método próprio para verificar os processos internos com impressões no terminal da Arduino IDE, o qual utilizou flags únicas para identificar facilmente o acerto ou erro dos processos. Em suma, foi desenvolvido um novo método para reiniciar o sistema, um novo método para identificar o funcionamento dos processos a partir do terminal da ferramenta Arduino IDE e uma nova lógica de modelação de variáveis foi implementada com o uso de flags para garantir a integridade do programa.

4 Resultados e discussão

O principal resultado desta pesquisa foi a validação e construção de um protótipo funcional e de baixo custo para o reuso de água cinza, que opera de forma automatizada. A efetividade do sistema foi confirmada através de testes práticos que demonstraram a capacidade do dispositivo de separar os fluxos de água da máquina de lavar conforme a seleção do usuário.

Conforme detalhado na metodologia, a arquitetura do projeto evoluiu significativamente. A transição de um sistema de duas válvulas para um com uma única eletroválvula solenóide (EVS) não foi apenas uma mudança de design, mas o resultado direto da constatação experimental de que a primeira abordagem era inviável sem um sistema de bombeamento adicional. A arquitetura final, mais simples, provou ser uma solução robusta e alinhada ao objetivo de baixo custo.

No âmbito do software, a implementação de uma lógica de *debounce* para o sensor de nível, a criação de um método de reinicialização automática após cada ciclo de uso e de um método específico para debug foram cruciais para garantir a estabilidade e a confiabilidade da operação, superando as instabilidades observadas nos testes iniciais. O código-fonte final, apresentado no Apêndice D, representa um sistema estável, capaz de interpretar as entradas do usuário e controlar o hardware de forma precisa.

A discussão sobre os resultados transcende o protótipo. Considerando que máquinas de lavar podem consumir até 197 litros de água por ciclo, o potencial de economia é significativo, o que pode ser visto no apêndice E. A viabilidade do sistema é amplificada em aplicações de maior escala, como em condomínios ou projetos habitacionais, onde o custo de implementação é diluído e o impacto ambiental e financeiro torna-se mais relevante, conforme explorado no Apêndice C. Adicionalmente, a pesquisa aponta para futuras melhorias, como a integração de métodos de tratamento sustentáveis, a exemplo do pó de semente de abóbora, que possui propriedades bio coagulantes, o que permite a aplicação em sistemas mais complexos que exijam água potável, como sistemas de irrigação.

Por fim, o projeto dispõe de grande potencial para ser um componente central em sistemas integrados de armazenamento, tratamento e reutilização da água cinza de pequenas ou grande comunidades para fins como irrigação ou limpeza, por exemplo.

5 Conclusão

Este projeto de iniciação científica atingiu seu objetivo principal de desenvolver um dispositivo eficiente, acessível e de fácil instalação para o reaproveitamento da água cinza de máquinas de lavar roupa. Ao longo desta pesquisa, foi possível não apenas construir uma solução tecnológica funcional para um problema socioambiental relevante, mas também vivenciar na prática os desafios e as recompensas da pesquisa aplicada. O trabalho reafirma o potencial da tecnologia como ferramenta para a sustentabilidade, oferecendo uma resposta prática à necessidade urgente de preservação dos recursos hídricos.

O percurso, desde a concepção teórica até o protótipo final, demonstrou que a simplicidade e o baixo custo são cruciais para a viabilidade de tecnologias de reuso em escala doméstica. A principal consideração extraída do processo foi que a arquitetura final, utilizando uma única eletroválvula e focada nos ciclos de enxágue, representa um equilíbrio eficaz entre funcionalidade e acessibilidade econômica, superando os desafios da proposta inicial. A superação das instabilidades de hardware e software por meio de ajustes no código e reforço das conexões validou a abordagem iterativa de testagem e aprimoramento contínuo adotada.

Conclui-se que o dispositivo desenvolvido representa uma medida de grande impacto socioambiental, contribuindo para a redução do consumo de água potável e, conseqüentemente, para a diminuição dos gastos dos usuários. O projeto alinha-se a diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, como o ODS 6 (Água potável e saneamento) e o ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), reforçando o compromisso com a sustentabilidade.

Como perspectivas para trabalhos futuros, vislumbra-se a aplicação do sistema em maior escala, como em habitações coletivas, onde seu impacto econômico e ambiental é significativamente potencializado. Sugere-se também a continuidade da pesquisa para integrar métodos de tratamento alternativos e sustentáveis, como o uso de bio coagulantes à base de pó de semente de abóbora, e a realização de estudos quantitativos para mensurar com precisão a economia de água gerada em diferentes

contextos de uso. Desta forma, este trabalho não apenas cumpre seus objetivos, mas também abre caminhos para futuras investigações e inovações no campo da conservação hídrica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

BOFF, Leonardo. **A urgência de uma ecologia integral**. 2015. Disponível em: <https://leonardoboff.org/2015/11/10/a-urgencia-de-uma-ecologia-integral/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

CRAIG, C.; RICHMAN, M. **Greywater reuse in Canadian residences: field performance, user satisfaction, and economic viability**. Environmental Studies Research, 2015. Disponível em: <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/9995>. Acesso em: 28 jul. 2025.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Uso racional da água: reuso em edificações**. São Paulo: FIESP, 2005. Disponível em: <https://gc.aksaam.ufv.br/bitstream/123456789/440/1/Texto%20completo.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

JEFFERSON, B. et al. **Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse**. *Water Science and Technology*, v. 50, n. 2, p. 157-164, 1999.

KRENAK, Ailton. **Ideias para adiar o fim do mundo**. São Paulo: Companhia das Letras, 2019.

SHARMA, Vatsala; NAYANAM, Kamal; HIMANI. **Arduino based smart water management**. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, v. 9, n. 8, p. 652–655, ago. 2020. Disponível em: <https://www.ijert.org/arduino-based-smart-water-management>. Acesso em: 28 jul. 2025.

SOUZA, Fernanda Cristina de. **Reuso de águas cinzas no ambiente urbano: estudo de caso em uma residência unifamiliar no município de Viçosa – MG**. 2018. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Disponível em: <https://gc.aksaam.ufv.br/bitstream/123456789/440/1/Texto%20completo.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2025.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRHidro, 2017.

VERGÍLIO, Matheus; MENDONÇA, Rafael. **Estudo para reuso de águas cinzas: viabilidade na implantação e manutenção de um sistema**. In: *Semana Acadêmica*, 2018. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/estudo_para_reuso_de_aguas_cinzas_-_viabilidade_na_implantacao_e_manutencao_de_um_sistema_0.pdf. Acesso em: 28 jul. 2025.

INMETRO. Consumo de água por lavadoras de roupas. *Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia*. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/consumidor/tabelas-de-consumo-de-agua>. Acesso em: 28 jul. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 28 jul. 2025.

ARDUINO. *What is Arduino?*. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: 30 jul. 2025.

YPE. *Como economizar água na máquina de lavar*. Ypê Explica, 2023. Disponível em: <https://www.ype.ind.br/ype-explica/como-economizar-agua-na-maquina-de-lavar>. Acesso em: 30 jul. 2025.

PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. *Engenharia de software: uma abordagem profissional*. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2021.

APÊNDICES

APÊNDICE A – EXPLICAÇÃO DOS COMPONENTES DE HARDWARE UTILIZADOS

1. Arduino Pro Mini

O Arduino Pro Mini é uma placa de prototipagem eletrônica baseada no microcontrolador ATmega328P, semelhante ao Arduino Uno R3, porém em um formato ainda mais compacto e com menor consumo de energia. Disponível em versões de 3,3V ou 5V, não possui porta USB integrada, exigindo o uso de um conversor externo para gravação do código. Essa característica o torna ideal para projetos embarcados e aplicações com restrições de espaço e energia.

No projeto de reaproveitamento de água cinza, o Arduino Pro Mini atua como o “cérebro” do sistema, processando as informações recebidas dos sensores e chaves, além de controlar os atuadores, como a válvula acionada pelo relé. Sua escolha foi motivada pela eficiência energética, tamanho reduzido e flexibilidade de programação, fatores que se alinham ao objetivo de desenvolver uma tecnologia de baixo custo e acessível.

Referência:

ARDUINO. *Arduino Pro Mini*. Disponível em:

<https://docs.arduino.cc/hardware/pro-mini>. Acesso em: 30 jul. 2025.

2. Módulo de Relé

O módulo de relé permite o controle de dispositivos de corrente alternada (AC) a partir de sinais de baixa tensão contínua (DC), como os gerados pelo Arduino. Funciona como uma chave eletromecânica: ao receber um sinal do microcontrolador, ativa um campo magnético que comuta os contatos e permite ou interrompe o fluxo de corrente elétrica.

No projeto, o relé é acionado para liberar ou bloquear o fluxo de água por meio de uma válvula, automatizando o processo de reuso conforme a lógica programada.

Referência: IDOETA, Ivan V.; CAPUANO, Flávio G. *Elementos de eletrônica digital*. São Paulo: Érica, 2010.

3. Barramentos

Os barramentos, neste contexto, consistem em fios de conexão (jumpers) responsáveis por conduzir sinais e energia entre os componentes do circuito. Em protótipos, são normalmente usados com placas de ensaio (protoboards), facilitando alterações e testes.

No projeto, os barramentos conectam o Arduino Pro Mini aos sensores, chaves e ao relé. Uma disposição organizada desses elementos é essencial para evitar interferências e garantir a estabilidade do sistema.

Referência: STALLINGS, William. *Arquitetura e organização de computadores*. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2017.

4. Resistores

Os resistores são componentes passivos utilizados para limitar a corrente elétrica, dividir tensão ou proteger elementos sensíveis no circuito. Seguem a Lei de Ohm ($V = R \times I$) e aparecem em diversos pontos, como nos circuitos de pull-up ou pull-down das chaves ou em série com LEDs.

Neste projeto, garantem o funcionamento estável dos sinais de entrada e a proteção do microcontrolador.

Referência: IDOETA, Ivan V.; CAPUANO, Flávio G. *Elementos de eletrônica digital*. São Paulo: Érica, 2010.

5. Chave (Chave HH de 2 posições)

As chaves (ou chaves comutadoras) são dispositivos de entrada manual que permitem a seleção de diferentes modos de funcionamento. Neste projeto, utiliza-se uma chave HH de duas posições para o usuário selecionar quais ciclos da máquina de lavar terão sua água reaproveitada:

- Não reaproveitar nenhum ciclo;
- Reaproveitar apenas o segundo ciclo;
- Reaproveitar também o enxágue extra.

A chave atua como uma interface de configuração que proporciona flexibilidade de uso conforme a preferência do usuário.

Referência: TANENBAUM, Andrew S. *Organização estruturada de computadores*. 5. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2007.

6. Reed Switch (Sensor Magnético de Nível)

O reed switch, que neste projeto é sensor magnético de nível, é composto por uma ampola de contato hermeticamente selada, que se fecha quando submetida a um campo magnético — geralmente fornecido por uma boia com ímã. Esse componente permite detectar o nível da água no reservatório.

No projeto, o reed switch detecta quando a água atinge o nível máximo (ou mínimo) e envia um sinal lógico ao Arduino. O microcontrolador, por sua vez, aciona ou desliga o relé, controlando a válvula de entrada da água. Isso garante a segurança do sistema, evitando transbordamentos ou esvaziamento completo.

Referência: ZELENOVSKY, Rafael; MENDONÇA, André. *Arduino: guia avançado para projetos*. São Paulo: Novatec, 2019.

APÊNDICE B – POSSIBILIDADE DE USO DO PÓ DE SEMENTE DE ABÓBORA NO TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA

Pesquisas recentes vêm destacando o potencial do pó de sementes de abóbora como bio coagulante natural no tratamento de águas residuais, incluindo águas cinzas. Esse pó é obtido a partir de resíduos agroindustriais, como sementes utilizadas na extração de óleo essencial, e apresenta compostos funcionais capazes de promover a floculação e a remoção de impurezas orgânicas e inorgânicas da água.

Em estudo experimental conduzido por Benalia et al. (2025), foi analisada a aplicação de resíduos de sementes de abóbora em conjunto com o coagulante químico cloreto férrico (FeCl_3) no tratamento de efluentes. O modelo de otimização adotado (Box–Behnken) mostrou que a combinação entre o bio coagulante e o coagulante tradicional obteve excelentes resultados, com redução de turbidez e da demanda química de oxigênio (DQO), além de significativa remoção de fósforo e compostos aromáticos.

Complementando esse achado, a revisão sistemática publicada por Lwasa et al. (2024) analisou diversos bio coagulantes de origem vegetal, incluindo as sementes de abóbora, e apontou que esses materiais podem alcançar eficiências superiores a 90 % na remoção de turbidez e até 75 % de redução da demanda química de oxigênio (DQO), dependendo da dosagem, pH e tempo de contato. Os autores destacam, ainda, a viabilidade do uso desses materiais em contextos com recursos limitados, sendo uma alternativa ambientalmente sustentável e de baixo custo.

Embora o pó de sementes de abóbora não tenha sido aplicado experimentalmente no presente projeto, sua adoção representa uma estratégia viável para futuras versões do sistema de tratamento de água cinza, especialmente em regiões com disponibilidade de resíduos vegetais e onde o uso de coagulantes químicos seja economicamente inviável ou ambientalmente indesejável.

APÊNDICE C – Viabilidade do Sistema em Escala Habitacional ou de Uso Coletivo

Este apêndice apresenta uma reflexão técnica sobre o uso do sistema de reuso de água cinza em contextos de maior escala, como habitações multifamiliares, condomínios, escolas ou edificações públicas.

Considerando a média de economia diária observada no estudo de Craig & Richman (2015) — 40,9 litros por pessoa por dia —, a aplicação do sistema em uma residência unifamiliar com quatro moradores resultaria em uma economia de aproximadamente 1.227 litros por mês. No entanto, em um prédio com 20 apartamentos, esse número sobe para 24.540 litros mensais, o que representa um impacto ambiental e financeiro significativamente mais relevante.

Além disso, o custo de instalação e manutenção por unidade se dilui quando dividido entre múltiplos usuários, reduzindo o tempo de retorno do investimento. Essa abordagem também contribui para a sustentabilidade urbana e para a conformidade com políticas públicas de uso racional da água.

Portanto, embora este projeto tenha sido desenvolvido em escala experimental e doméstica, sua aplicação em larga escala apresenta maior eficácia e relevância, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Referências

BENALIA, A. *et al.* Wastewater treatment using a combination of pumpkin seed waste after extraction of essential oils (bio-coagulant) and ferric chloride (chemical coagulant): optimization and modeling using a Box–Behnken design. *Applied Sciences*, [S. l.], v. 15, n. 10, art. 5439, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15105439>.

LWASA, A. *et al.* Performance analysis of plant-based coagulants in water purification: a review. *Discover Water*, v. 4, art. 108, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00171-0>.

APÊNDICE D – Código criado para manipular o hardware + link para o projeto no github

https://github.com/Borges070/Arduino_Flow_Manager.git

Aqui segue o código final do projeto. Ele segue os paradigmas imperativo, funcional e modular. Ele foi desenvolvido em C++ e foi comentado para melhor entendimento de cada elemento nele presente.

```
    const int BOIA_PIN = 7;           // Sensor para detectar o nível
de água (reed switch)

    const int VALVE_PIN = 9;          // Relé para controlar a válvula

    const int USER_INPUT_NORMAL_PIN = 10; // Entrada do usuário para o
modo "Normal"

    const int USER_INPUT_EXTRA_PIN = 11; // Entrada do usuário para o
modo "Extra"

    const int LED_PIN = 13;           // LED para indicar o status do
sistema

    const int LED_NORMAL = 4;         // LED indicar modo "Normal"

    const int LED_EXTRA = 6;         // LED indicar modo "Extra"

    // Variáveis de estado do sistema

    int flowCount = 0;                // Rastrea o número de fluxos
detectados

    bool saveOnSecondFlow = false;    // Economiza no 2° fluxo flag

    bool saveOnThirdFlow = false;     // Economiza no 3° fluxo flag

    int currentMode = 0;              // 0: Nenhum, 1: Normal, 2:
Extra, 3: Ambos, 4: Failsafe

    // Variáveis para controle de economia

    bool economiaAtiva = false;

    bool aguardandoTerceiroFluxo = false; // Sinaliza que já
economizou no 2° e aguarda o 3°

    bool economiaNoTerceiroFluxoAtiva = false; // Sinaliza que a
economia do terceiro fluxo está ativa

    // Debounce e detecção de transição do sensor boia

    int stableBoiaState = LOW;        // Estado estável atual do
sensor boia
```

```
    int lastBoiaReading = LOW;           // Última leitura do sensor
boia

    bool boiaPreviouslyHigh = false;     // Flag para controlar a
transição LOW -> HIGH

    unsigned long lastDebounceTime = 0;

    const unsigned long debounceDelay = 1000;

    // Variáveis para evitar flood no Serial (isso ajuda BASTANTE)

    bool lastEconomiaAtivaPrinted = false;

    int lastFlowCountPrinted = -1;

void setup() {

    pinMode(VALUE_PIN, OUTPUT);

    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);

    pinMode(USER_INPUT_NORMAL_PIN, INPUT);

    pinMode(USER_INPUT_EXTRA_PIN, INPUT);

    pinMode(BOIA_PIN, INPUT_PULLUP);

    pinMode(LED_NORMAL, OUTPUT);

    pinMode(LED_EXTRA, OUTPUT);

    Serial.begin(9600);

    digitalWrite(VALUE_PIN, HIGH);

    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
```

```
digitalWrite(LED_NORMAL, LOW);

digitalWrite(LED_EXTRA, LOW);

Serial.println(F("\n====="));

Serial.println(F("🔧 SISTEMA DE ECONOMIA DE ÁGUA INICIADO"));

Serial.println(F("▶ Válvula: ABERTA"));

Serial.println(F("▶ LED Principal: LIGADO"));

        Serial.println(F("▶   Aguardando seleção de modo pelo
usuário..."));

Serial.println(F("=====\n"));

}

void loop() {

    lidarComEntradaUsuario();

    if (economiaAtiva) {

        if (!lastEconomiaAtivaPrinted) {

            Serial.print("⌚ [");

            Serial.print(millis() / 1000);

            Serial.println("s] Economia ativada. Válvula FECHADA até
reservatório esvaziar.");

            lastEconomiaAtivaPrinted = true;

        }

    }

}
```

```
int boiaAtual = digitalRead(BOIA_PIN);

if (boiaAtual == LOW) {

    Serial.println(F("✅ Reservatório esvaziou. Economia
finalizada."));

    // Se a economia era do segundo fluxo e estamos no modo 3,
    aguardamos o terceiro fluxo

    if (currentMode == 3 && flowCount == 2 &&
!economiaNoTerceiroFluxoAtiva) {

        Serial.println(F("⌚ Aguardando próximo fluxo antes de
resetar (modo NORMAL + EXTRA)."));

        aguardandoTerceiroFluxo = true;

        economiaAtiva = false; // Desativa a economia para
permitir o próximo fluxo

        digitalWrite(VALVE_PIN, HIGH); // Abre a válvula

        digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // Acende o LED principal

    } else {

        // Se a economia era do terceiro fluxo (no modo 3) ou
qualquer outra economia, reseta

        resetSystem();

    }

}

} else {

    monitorarSensorBoia();
```

```
        lastEconomiaAtivaPrinted = false;

    }

    // A verificação de reset para o modo 3 ocorre após a economia do
    terceiro fluxo.

    // Isso foi movido para dentro de lidarComReservatorioCheio()

    delay(10);

}

void lidarComEntradaUsuario() {

    int inputNormal = digitalRead(USER_INPUT_NORMAL_PIN);

    int inputExtra = digitalRead(USER_INPUT_EXTRA_PIN);

    int newMode = 0;

    if (inputNormal == LOW && inputExtra == LOW) {

        newMode = 3;

    } else if (inputExtra == LOW) {

        newMode = 2;

    } else if (inputNormal == LOW ) {

        newMode = 1;

    } else {

        newMode = 4;

    }

}
```

```
if (newMode != currentMode) {

    currentMode = newMode;

    resetSystem(); // Sempre reseta ao mudar o modo para garantir
um estado limpo

    Serial.println(F("\n===== MODO ALTERADO
====="));

    switch (currentMode) {

        case 0:

            saveOnSecondFlow = false;

            saveOnThirdFlow = false;

            digitalWrite(LED_NORMAL, LOW);

            digitalWrite(LED_EXTRA, LOW);

            Serial.println(F("i Nenhum modo selecionado. Sistema
desativado.));

            break;

        case 1:

            saveOnSecondFlow = true;

            saveOnThirdFlow = false;

            digitalWrite(LED_NORMAL, HIGH);

            digitalWrite(LED_EXTRA, LOW);
```

```
Serial.println(F("✓ MODO NORMAL: Economiza no 2°  
fluxo."));  
  
    break;  
  
    case 2:  
  
        saveOnSecondFlow = false;  
  
        saveOnThirdFlow = true;  
  
        digitalWrite(LED_NORMAL, LOW);  
  
        digitalWrite(LED_EXTRA, HIGH);  
  
        Serial.println(F("✓ MODO EXTRA: Economiza no 3°  
fluxo."));  
  
    break;  
  
    case 3:  
  
        saveOnSecondFlow = true;  
  
        saveOnThirdFlow = true;  
  
        digitalWrite(LED_NORMAL, HIGH);  
  
        digitalWrite(LED_EXTRA, HIGH);  
  
        Serial.println(F("✓ MODO NORMAL + EXTRA: Economiza no 2°  
e 3° fluxo."));  
  
    break;  
  
    case 4:  
  
        saveOnSecondFlow = false;  
  
        saveOnThirdFlow = false;
```

```
        digitalWrite(LED_NORMAL, LOW);

        digitalWrite(LED_EXTRA, LOW);

        Serial.println(F("⚠ MODO 0: Sistema desativado.));

        break;

    }

Serial.println(F("=====\n"));

}

}

void monitorarSensorBoia() {

    int currentReading = digitalRead(BOIA_PIN);

    if (currentReading != lastBoiaReading) {

        lastDebounceTime = millis();

        lastBoiaReading = currentReading;

    }

    if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {

        if (stableBoiaState != currentReading) {

            stableBoiaState = currentReading;

            if (stableBoiaState == HIGH && !boiaPreviouslyHigh) {

                boiaPreviouslyHigh = true;

                lidarComReservatorioCheio();
            }
        }
    }
}
```

```
        // vai chamar resetSystem no momento certo para o modo 3.

    } else if (stableBoiaState == LOW) {

        if (economiaAtiva) {

            Serial.println(F("💧 Sensor indica que reservatório está
vazio (LOW)."));

        }

        boiaPreviouslyHigh = false;

    }

}

}

}

}

void lidarComReservatorioCheio() {

    flowCount++;

    if (flowCount != lastFlowCountPrinted) {

        Serial.print("💧 ");

        Serial.print(millis() / 1000);

        Serial.print("s] Novo fluxo detectado: ");

        Serial.println(flowCount);

        lastFlowCountPrinted = flowCount;

    }

}
```

```
}

bool shouldSave = false;

// Lógica para modo 3 (Economiza no 2º e 3º fluxo)

if (currentMode == 3) {

    if (flowCount == 2 && saveOnSecondFlow) {

        shouldSave = true;

        economiaNoTerceiroFluxoAtiva = false; // Garante que a flag
esteja correta

    } else if (flowCount == 3 && saveOnThirdFlow &&
aguardandoTerceiroFluxo) {

        shouldSave = true;

        economiaNoTerceiroFluxoAtiva = true; // Ativa a flag para
indicar economia no terceiro fluxo

    }

}

// Lógica para modos Normal e Extra

else if (currentMode == 1 && flowCount == 2 && saveOnSecondFlow)
{

    shouldSave = true;

    } else if (currentMode == 2 && flowCount == 3 &&
saveOnThirdFlow) {

        shouldSave = true;

    }

}
```

```
if (currentMode == 0 || currentMode == 4) { // Modos desativados

    shouldSave = false;

}

if (shouldSave) {

    Serial.print("⊘ Fluxo ");

    Serial.print(flowCount);

    Serial.println(" requer economia. Válvula fechando.");

    digitalWrite(VALUE_PIN, LOW);

    digitalWrite(LED_PIN, LOW);

    economiaAtiva = true;

    aguardandoTerceiroFluxo = false; // Zera essa flag quando a
economia é ativada

} else {

    // Se a válvula estiver fechada e não houver economia ativa,
reabrir

    if (digitalRead(VALUE_PIN) == LOW && !economiaAtiva) {

        digitalWrite(VALUE_PIN, HIGH);

        digitalWrite(LED_PIN, HIGH);

        Serial.println(F("🔓 Válvula reaberta. Sem economia
ativa."));

    }

}
```

```
Serial.print("+ Fluxo ");

Serial.print(flowCount);

Serial.println(" não requer economia.");

}

}

void resetSystem() {

    flowCount = 0;

    economiaAtiva = false;

    digitalWrite(VALUE_PIN, HIGH); // Válvula aberta

    digitalWrite(LED_PIN, HIGH); // Led ligado

    lastFlowCountPrinted = -1;

    lastEconomiaAtivaPrinted = false;

    boiaPreviouslyHigh = false;

    aguardandoTerceiroFluxo = false;

    economiaNoTerceiroFluxoAtiva = false;

    Serial.println(F("\n↺ Sistema resetado: contadores zerados,
válvula aberta, LED ligado.\n"));

}
```

APÊNDICE E – Tabela de economia de água por dias utilizados na semana

Aqui foram organizadas quantias que podem ser salvas de água de acordo com sua frequência de uso na semana. Para os cálculos foram utilizados dois tamanhos comuns de máquina de lavar roupa, uma de 9 Kg e outra de 12 Kg.

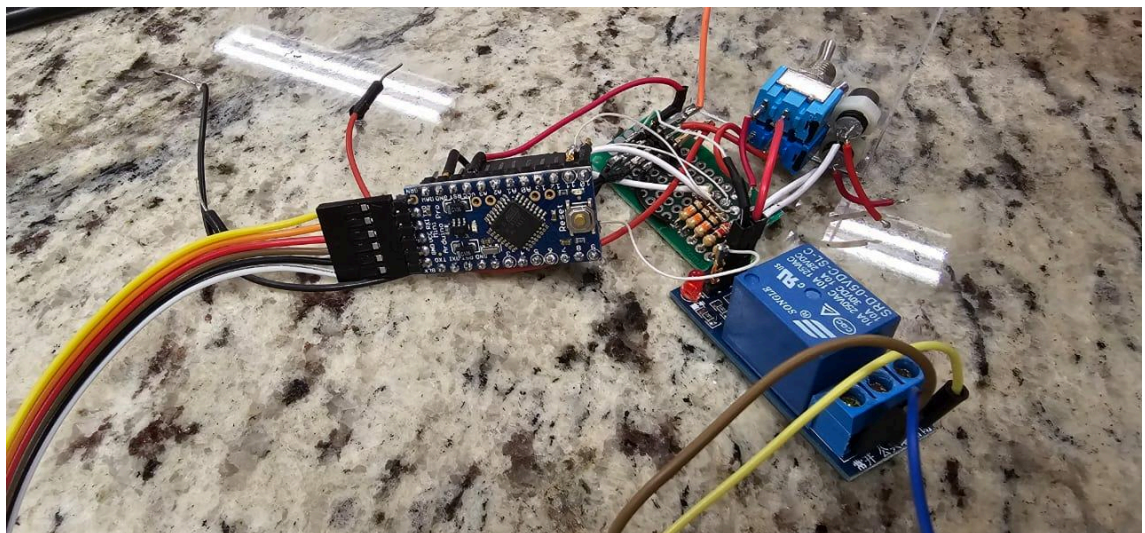
Os dados das máquinas escolhidas foram adquiridos dos manuais disponíveis na seção de anexos.

Economia da Máquina de 9 Kg - 115 L/por ciclo

| Quantia de dias que a máquina é utilizada | Caso seja salvo 1 ciclo (Ex: apenas o de enxágue) | Caso sejam salvos 2 ciclos (Ex: O de enxágue e de enxágue extra) |
|--|--|---|
| 1 | 115 L | 230 L |
| 2 | 230 L | 460 L |
| 3 | 345 L | 690 L |
| 4 | 460 L | 920 L |

Economia da Máquina de 12 Kg - 138 L/por ciclo:

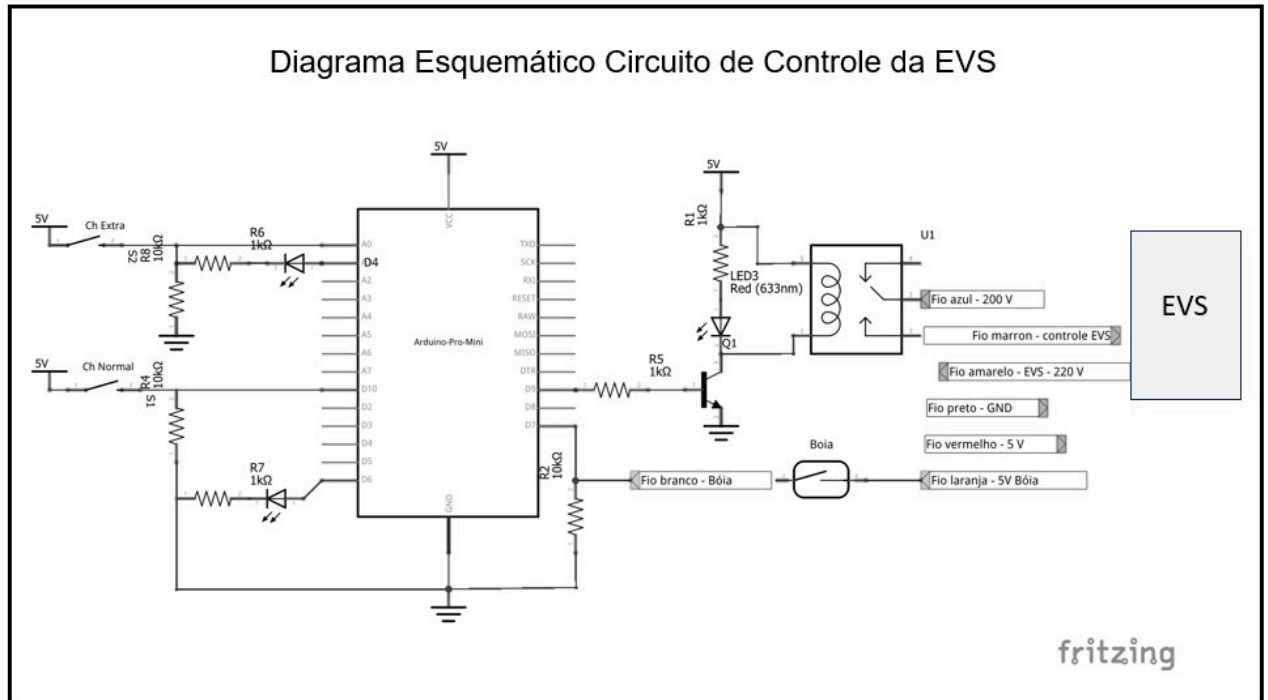
| Quantia de dias que a máquina é utilizada | Caso seja salvo 1 ciclo (Ex: apenas o de enxágue) | Caso sejam salvos 2 ciclos (Ex: O de enxágue e de enxágue extra) |
|--|--|---|
| 1 | 138 L | 276 L |
| 2 | 276 L | 552 L |
| 3 | 414 L | 828 L |
| 4 | 552 L | 1104 L |

APÊNDICE F – Fotografias do desenvolvimento do projeto**Primeira arquitetura****Teste do módulo de controle antes da integração**

Arquitetura final



APÊNDICE G – Esquemático do hardware:



APÊNDICE H – Estimativa de Custos, Economia e Viabilidade Econômica do protótipo

O desenvolvimento do protótipo do sistema proposto envolveu custos diretos com aquisição de componentes eletrônicos e peças hidráulicas, totalizando R\$ 605,00 apenas em materiais. Considerando o processo de montagem e ajustes manuais, o custo final do protótipo foi de R\$ 413,00. Embora o custo por unidade seja relativamente elevado nesta fase inicial, em produção em larga escala o valor unitário tende a cair significativamente devido à compra de insumos em grandes quantidades e à otimização dos processos produtivos.

Em termos de desempenho, o potencial de economia de água varia de acordo com a capacidade da máquina de lavar e com a quantidade de ciclos reaproveitados. No caso de uma máquina de 11 kg, que consome 115 litros por ciclo, a economia pode ser de 115 litros quando apenas um ciclo é reaproveitado e de 230 litros quando dois ciclos são reaproveitados, considerando um único dia de uso semanal. Se a máquina for utilizada dois dias por semana, a economia sobe para 230 e 460 litros respectivamente. Para três dias de uso, os valores chegam a 345 e 690 litros, e para quatro dias, 460 e 920 litros. Já uma máquina de 12 kg, que consome 138 litros por ciclo, apresenta uma economia de 138 litros para um ciclo reaproveitado e 276 litros para dois ciclos quando utilizada um dia por semana. Para dois dias de uso, esses valores sobem para 276 e 552 litros; para três dias, 414 e 828 litros; e para quatro dias, 552 e 1104 litros.

Entretanto, em condições reais, parte da água reaproveitada se perde devido a volumes residuais nas tubulações, necessidade de enchimento inicial do reservatório e respingos. Considerando uma taxa de perda operacional muito otimista, em torno de 1%, os valores efetivos de economia são ligeiramente reduzidos. Por exemplo, no caso de uma máquina de 12 kg utilizada três vezes por semana com reaproveitamento de dois ciclos, a economia bruta de 828 litros semanais se traduz em aproximadamente 42.625 litros anuais com 1% de perda. Esse volume corresponde a R\$ 213,13 por ano, considerando uma tarifa média nacional de R\$ 5,00 por metro cúbico de água. Assim, o tempo de retorno do investimento de R\$ 413,00 seria de cerca de 1,94 ano.

Um cenário semelhante é observado para a máquina de 11 kg utilizada três vezes por semana com dois ciclos reaproveitados, cuja economia bruta de 690 litros por semana, quando ajustada para a perda de 1%, resulta em um volume anual de 35.521 litros, equivalente a uma economia de R\$ 177,61, e um tempo de retorno do investimento de 2,33 anos.

Mesmo considerando uma perda operacional mínima, o tempo de retorno do investimento permanece competitivo, variando entre aproximadamente 1,9 e 2,3 anos para a produção artesanal. Em larga escala, o custo de produção pode cair substancialmente, encurtando o período de retorno. Por isso, recomenda-se que o projeto seja implementado em parceria entre órgãos governamentais e o setor industrial, especialmente empresas de saneamento, automação e fabricação de dispositivos hidráulicos. Essa abordagem permitiria reduzir o preço final ao consumidor, facilitar a adoção por diferentes faixas de renda, integrar a solução a políticas públicas de uso racional da água e ampliar a escala de produção, aumentando a eficiência econômica e o impacto ambiental positivo.

ANEXOS

Anexo A – Manuais das máquinas Brastemp modelo BWL09B e BWK12A, que foram utilizadas para os testes e cálculos:

BWL09B:

https://d1ei86x16ftk6v.cloudfront.net/media/Manual_BWL09AB.pdf

BWK12A:

https://d1ei86x16ftk6v.cloudfront.net/media/Brastemp_Lavadora_BWK12A_Guia_Rapido_Versao_Digital_1.pdf