



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Meta 4 - Tecnologias de Interfaces

Afonso Rodrigues 2024233760

Martim Oliveira 2021223498

Maria Abreu 2021123488

11 de junho de 2025

1. Introdução

O abastecimento de água potável está sendo afetado pela crise hídrica global que a humanidade enfrenta. Apesar de ser uma necessidade básica, o banho e a descarga contribuem com aproximadamente metade do consumo doméstico de água. No relatório da ONU “Nosso Futuro Comum”(Commission on Environment, [s.d.]), a comissão Brundtland enfatiza que o uso da água deve atender às necessidades do presente sem comprometer a disponibilidade para as gerações futuras. O “Consumo vampírico”(ONU Brasil, 2023), refere-se ao uso excessivo de recursos sem percepção consciente por parte do consumidor. Ambas as atividades mencionadas anteriormente se aplicam ao conceito, uma atividade essencial que muitas vezes extrapola a quantidade necessária de água utilizada. Um estudo feito pela revista Exame (Exame, 2023) aponta que banhos acima de 10 minutos podem resultar em desperdícios significativos, um equivalente de mais de cem mil copos de água potável por ano.

O pesquisador Arjen Hoekstra(Water Footprint Network, [s.d.]) desenvolveu o conceito de pegada hídrica calculando o total de água consumida direta e indiretamente por indivíduos, produtos e processos. No banho, ela pode ser calculada considerando não apenas a água usada diretamente, mas também a energia necessária para a aquecer. O chuveiro elétrico é responsável por quarenta e cinco por cento do consumo de energia em casa. A pesquisa da Water Footprint Network indica que ao reduzir o tempo de banho de 10 para 5 minutos a pegada pode diminuir drasticamente.

Diante desse desafio, diversas iniciativas têm sido adotadas para incentivar o uso consciente da água. Entre elas está a tarifação progressiva da água(JusBrasil, [s.d.]) é uma estratégia para reduzir o desperdício, conforme o consumo aumenta, o custo por litro cresce. No entanto, o êxito do sistema é questionável por depender de vários fatores, como a estrutura tarifária adotada, a transparência na comunicação das faixas de consumo e a percepção da população em relação ao valor da água. Além disso o impacto do aumento tarifário é limitado, as variações no preço não resultam em mudanças proporcionais já que a psicologia também ocupa um papel fundamental no comportamento. O modelo COM-B (The Decision Lab, 2022) sugere que existem três fatores que influenciam na mudança de comportamento: Capacidade, Oportunidade e Motivação. A capacidade de entender o problema, a oportunidade de adotar um comportamento sustentável e a motivação para mudar seu hábito. Esse modelo indica que mudanças efetivas dependem mais da vontade da própria pessoa que influências externas.

Enquanto medidas como tarifas progressivas tem como objetivo desencorajar o consumo excessivo, eles contam com penalizações financeiras em vez da conscientização. Muitas pessoas continuam desperdiçando água por não ter consciência de seu impacto. Para abordar essa lacuna, propomos um assistente que monitora o consumo da água em tempo real. Usando um Arduino, o dispositivo rastreia o volume de água e alerta quando a quantidade excede o limite recomendado.

2. Conceito

O presente projeto visa o desenvolvimento de um sistema eletrônico de monitorização do consumo de água durante o banho, com o objetivo de promover comportamentos mais sustentáveis e conscientes por parte dos utilizadores. Tendo em conta a crescente preocupação com a escassez de recursos hídricos, torna-se cada vez mais relevante implementar soluções tecnológicas simples e acessíveis que incentivem à redução do desperdício de água, especialmente em atividades quotidianas como o banho – uma das principais fontes de consumo doméstico de água potável.

A solução proposta é baseada em Arduino e recorre a um **sensor de fluxo de água**, que é instalado na tubagem do chuveiro. Este sensor é responsável por medir em tempo real o volume de água que circula durante a utilização. Os dados recolhidos são transmitidos ao microcontrolador, que os processa e apresenta num **mini ecrã digital**. Este ecrã mostra ao utilizador, de forma clara e imediata, o total de litros gastos desde o início do banho.

Para além da visualização do consumo, o sistema inclui ainda um **LED indicador**, que se acende quando o utilizador atinge um determinado limite de consumo (por exemplo, 50 ou 100 litros, configurável de acordo com os objetivos de poupança). Este alerta serve como um lembrete visual para que o utilizador possa ajustar o seu comportamento antes de ultrapassar o valor recomendado. Um **botão de reinício** permite também redefinir a contagem, tornando o sistema adequado para uso por vários membros de uma mesma família ou para múltiplas sessões ao longo do dia.

A implementação deste tipo de sistema está alinhada com as práticas recomendadas por organizações como a **Agência Portuguesa do Ambiente (APA)**, que defende o uso racional da água e a adoção de tecnologias de monitorização e controlo para a redução do consumo. Estudos indicam que o simples ato de disponibilizar ao utilizadores informações em tempo real sobre o seu consumo pode levar a uma redução média de 15% no uso de água. A utilização de microcontroladores como o Arduino para fins educativos e ambientais tem vindo a crescer, dada a sua versatilidade, baixo custo e vasta comunidade de suporte.

Este projeto não só promove a eficiência hídrica como também tem um potencial educativo, sensibilizando os utilizadores – especialmente os mais jovens – para a importância de atitudes mais sustentáveis no quotidiano. Através de uma interface intuitiva e de fácil instalação, o sistema pretende contribuir para a preservação de um recurso vital e finito: a água.

3. Definição do Problema

Os hábitos diários de banho têm um papel significativo no consumo de água e energia, muitas vezes de forma inconsciente. Por ser uma atividade rotineira e associada ao conforto e ao bem-estar, o banho acaba se tornando um momento em que as pessoas tendem a relaxar e não se preocupar com o tempo ou os recursos utilizados. De acordo com o Washington Post(Davenport, 2015), muitas pessoas tomam banhos mais longos que o necessário. O estadunidense médio, por exemplo, passa cerca de 8 minutos em água corrente, o que resulta em um consumo

aproximado de 65 litros por banho. Em países onde o acesso à água é abundante e o custo relativamente baixo, a percepção de desperdício é ainda mais diluída.

Um dos principais problemas está na ausência de resposta em tempo real. Ao contrário de outras utilidades como a eletricidade — cuja conta mensal mais alta pode indicar uso excessivo — a água do banho é, na prática, invisível. Não há um contador visível, nem um alerta sonoro ou visual que indique quando o limite recomendado foi atingido. As pessoas raramente compreendem o impacto de alguns minutos extras, levando ao desperdício sem consequências imediatas. Além de que o conforto psicológico pode encorajar banhos mais demorados, especialmente em épocas frias ou após dias estressantes.

Do ponto de vista da psicologia ambiental, as emoções desempenham um papel central na relação das pessoas com o meio ambiente. Os teóricos dessa área começaram a conceber a emoção não apenas como uma reação, mas como uma parte integral e adaptativa da cognição. Um estudo de (Kals et al., 1999) propõe que emoções — tanto positivas como negativas — servem como motivadores de ações pró-ambientais. A afinidade com a natureza, por exemplo, está positivamente relacionada aos comportamentos de conservação autocríticos. As emoções autoconscientes como orgulho e culpa são fundamentais para a motivação. Se um indivíduo conserva água pelo medo da escassez, essa atitude tende a ser acompanhada de emoções negativas que reforçam o comportamento conservacionista.

Nos últimos anos diversos projetos foram desenvolvidos com o intuito de reduzir o consumo de água durante o banho. Entre elas, destacam-se dispositivos físicos que controlam a vazão da água e sistemas inteligentes que integram sensores com aplicativos móveis. Uma das abordagens mais diretas é o uso de reguladores de fluxo, que reduzem a quantidade de água liberada sem comprometer a pressão, promovendo economia com o mínimo de esforço do usuário. No entanto, essas soluções, embora eficazes do ponto de vista técnico, costumam transformar a economia em uma ação passiva. O consumidor sabe que está usando menos água, mas não tem consciência real de quando está consumindo nem do impacto de suas ações em tempo real.

Sob a ótica do modelo COM-B (*Capability, Opportunity, Motivation - Behavior*), essas abordagens falham em estimular mudanças de comportamento de forma ativa. Embora contribuam para a economia de recursos, elas não promovem um senso de responsabilidade nem incentivam o desenvolvimento de novos hábitos. Pior ainda: ao garantir uma economia automática, podem até acabar reforçando o comportamento de prolongar o banho, anulando parcialmente os benefícios ambientais pretendidos.

Um estudo realizado em Belén, Costa Rica, examinou o efeito de três estratégias de baixo custo para reduzir o consumo de água em domicílios. A primeira estratégia consistia em fornecer às famílias uma comparação entre o seu consumo e a média da vizinhança. A segunda oferecia dados comparativos em relação à média do município. A terceira incentivava os moradores a definirem metas pessoais e elaborar planos concretos para reduzir o consumo. Os resultados foram significativos: tanto as comparações com vizinhos quanto os planos de ação individuais resultaram em uma redução de 3.4% a 5.6% (Datta et al., 2015) no consumo de água.

Esses dados confirmam uma das premissas fundamentais do projeto: intervenções comportamentais são mais eficazes quando fornecem retornos imediatos, contextualizando e emocionalmente relevantes. A pesquisa mostrou que as pessoas tendem a ajustar seu comportamento ao se verem classificadas em relação a outros — uma forma sutil, porém eficaz, de pressão social positiva.

Em um contexto global, a agricultura é o maior consumidor de água potável, contabilizando em aproximadamente 70 por cento da água retirada de um lado ou rio (Worldometers, [s.d.]). Enquanto o uso doméstico consome cerca de 10 por cento do total. Em nações industrializadas, a distribuição muda, com as indústrias consumindo mais de metade da água disponível. Apesar do uso individual dos recursos ocupar uma fração mínima do consumo total, o impacto cumulativo de bilhões de pessoas adotando hábitos conscientes pode ser significativo. Enquanto a mudança sistêmica na agricultura e na indústria são cruciais para a conservação, ações individuais também desenvolvem um papel fundamental em fomentar a cultura da sustentabilidade. Ao combinar reformas políticas e responsabilidade pessoal, a abordagem da escassez será mais eficaz.

4. Metodologia do Design de Interação

Para guiar a conceptualização e a prototipagem dos sistemas de interação, foi adotado o modelo de interação do Bill Verplank. Esse modelo quebra as interações entre pessoas e sistemas em três questões fundamentais:

1. How do you do it? - Se refere às ações físicas ou entradas que o usuário executa para interagir com o sistema.
2. How do you feel about it? - Envolve a resposta dada pelo sistema às ações do usuário, ajudando a entender o que está acontecendo.
3. How do you know what to do? - Isso diz respeito ao modelo mental do usuário: O que eles esperam que o sistema faça e quão intuitivo a interação parece.

O modelo foi escolhido por ser centrado na experiência e percepção do usuário, não apenas usabilidade ou funcionalidade técnica. Esse foco é essencial para o objetivo: Criar um sistema interativo que não só acompanha o uso de água, mas encoraja a mudança comportamental através de feedback, conscientização e simplicidade.

a. How do you know?

Nas primeiras fases do design, temos que considerar quais são as expectativas dos usuários em relação à rotina de banho. O usuário não entra no banheiro antecipando uma experiência interativa. Entretanto, é essencial que o sistema comunique seu propósito e sua presença de forma clara, sem precisar de instruções ou explicação. É aqui que a noção do modelo mental é fulcral.

Segundo Nielsen, o modelo mental é aquilo que o usuário acredita sobre o funcionamento de um sistema. Esses modelos ajudam as pessoas a preverem como um sistema irá se comportar, influenciando diretamente a forma como interagem com a interface. Como cada um constrói seu modelo mental com base em

experiências e conhecimentos prévios, é essencial compreender esse conceito durante o processo de design.

Assumimos que a maioria dos usuários não estão familiarizados com sistemas que fornecem feedback do consumo de água em tempo real. O modelo mental de tomar banho é: “Eu entro, abro o chuveiro, me lavo, relaxo e saio.” Não existe um conceito estruturado de visualização de dados ou respostas instantâneas. E parte do desafio era criar um sistema que introduziria sutilmente novas expectativas — sem interromper o fluxo mental do banho.

Para reforçar a proposta, recorremos ao uso de metáforas e consistências de design. Um exemplo é o uso da cor vermelha para indicar que o tempo está se esgotando, além de um painel que permite aos usuários acompanharem o consumo durante o banho. Esses elementos funcionam como pistas intuitivas, que não exigem curva de aprendizado, facilitando a associação entre a ação e consequência. Com o tempo, a experiência tende a moldar um novo modelo mental: o banho deixa de ser uma atividade puramente passiva e passa a ser percebido como um momento de autoconsciência e mudança de hábito.

Modelos mentais se formam e se adaptam baseado no que o sistema comunica no momento. Se um usuário vê a interface reagir quando a pessoa permanece por muito tempo, eles logo aprendem os limites — o que é encorajado e o que não é. Isso forma um ciclo: ação > reação > novo modelo mental.

Desse modo, a pergunta de Verplank “*How do you know?*” é respondida continuamente durante o uso, conforme o sistema devolve feedback que molda o modelo mental do usuário.

b. How do you do?

Um dos desafios em criar sistemas que são destinados a mudar o comportamento é garantir que o mecanismo de entrada não fique no caminho. Se o sistema demanda muito esforço ou atenção, o usuário pode desistir do produto. Isso foi especialmente relevante no nosso contexto — o chuveiro — onde o usuário está vulnerável é pouco provável que ele queira operar uma interface complexa. Nesse contexto, o sistema é desenhado para exigir o mínimo de input manual possível, preservando o ritmo natural do banho enquanto ainda promove o engajamento do usuário em momentos chave.

Nessa dimensão, o modelo de Bill Verplank se refere aos mecanismos de entrada e saída — essencialmente, como os usuários interagem fisicamente com o sistema. Nesse caso, a interação é intencionalmente simples e direta, com o objetivo de fazer o sistema acessível mesmo quando os usuários têm pouco conhecimento técnico.

A primeira e a única interação ativa que o modelo exige é pressionar o botão de reiniciar antes de começar o banho. Essa ação reinicia o contador interno, sinalizando para o sistema que um novo banho se inicia. Apesar de ser ter um esforço mínimo, o gesto tem um papel importante na ritualização da interação: O reiniciar se torna um momento de definição de intenção — uma escolha consciente de monitorar e refletir sobre o uso da água.

Uma vez que o usuário reinicia o contador, o resto da interação se torna invisível. O painel LCD funciona como um monitorador de orçamento ou até um tanque de gasolina, mostrando quanto de água está disponível para gastar. O design enfatiza a interação de baixo atrito, no qual é crucial nesse contexto privado, uma rotina sensível ao tempo como tomar banho. Além disso, a luz serve como um alerta visual. Quando o usuário está perto de um limite, o LED é ativado, alertando sem ser disruptivo. O sinal apesar de sutil é claro, deixa o utilizador ajustar o comportamento sem interromper a experiência.

Em suma, a interação com o sistema ocorre através de três canais:

- Entrada: Botão físico (reiniciar); sensor de fluxo de água (entrada passiva, uso da água).
- Saída: Painel LCD (mostra os litros restantes); LED (alerta).

Já que o sistema é tão simples, os erros dos usuários são limitados. No entanto, identificamos alguns cenários:

- Esquecer de apertar o botão: O contador iria refletir o acúmulo de água e potencialmente confundir o consumidor.
- Ignorar o sinal de luz: Alguns usuários podem não responder aos avisos visuais e especialmente se não estiverem associados à urgência.

O diagrama de fluxo a seguir resume a interação lógica e sequência de tarefas envolvidas ao usar o protótipo. Ele destaca os pontos de decisão do usuário e as respostas do sistema, baseado no loop de interação conceptualizado na fase do design.

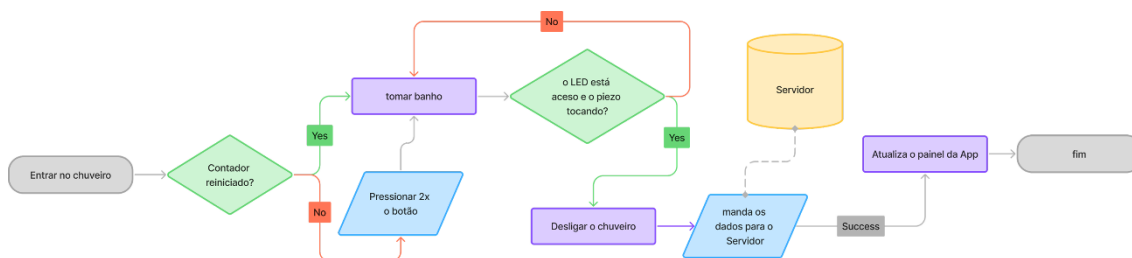


Figura 1 - Diagrama de fluxo da interação

Isso está alinhado com o princípio de Verplank que a entrada deve ser natural e integrada nas ações do usuário. Ao invés de navegar nas interfaces ou controlar dispositivos, o usuário interage através de simples ações do dia a dia: apertando botões e abrindo a torneira. Ao simplificar a entrada para apenas um gesto intencional, reduzimos as barreiras para adotar e apoiar uso habitual e repetitivo — ambos essenciais para criar uma mudança de comportamento a longo prazo.

c. How do you feel?

Esse eixo do modelo de Verplank foca em como o indivíduo percebe e responde emocionalmente ao *feedback* do sistema durante a interação com o artefato. Ele explora como o sistema afeta a motivação, envolvimento e até frustração. O protótipo visa criar

um sentido de controle e responsabilidade. Ao mostrar a quantidade restante de água em tempo real, a pessoa se torna consciente do seu impacto no meio ambiente. Isto aborda uma das principais barreiras para a mudança de comportamento: as pessoas geralmente não mudam seus hábitos porque não entendem a real consequência de suas ações. E o projeto aborda essa lacuna.

Para entender qual tipo de informação os consumidores se sentiam mais confortáveis em receber — uma contagem progressiva (litros usados) ou regressiva (litros que restam) — foi conduzida uma pesquisa com entrevistas informais, tanto qualitativa quanto quantitativa. Os resultados revelaram um padrão claro: Não haverá consenso. Alguns participantes preferem a contagem progressiva porque lhes dá um senso de controle e permite a comparação com dias anteriores. Outros favoreceram a contagem regressiva porque criava uma barreira simbólica: o fim se aproximava, e isso despertava uma urgência emocional mais forte do que apenas ver o que já foi consumido.

Participante	Preferencia	Observação
1	Progressiva	Se for de 0 ao limite não necessariamente vou usar tudo, sabendo que eu tenho x litros é mais provável usar tudo.
2	Progressiva	Fico menos estressada sabendo "ainda tem", do que "só falta".
3	Progressiva	
4	Regressiva	Posso me esquecer qual é o limite, mas tenho certeza q o fim é 0
5	Progressiva	De 0 a x me deixaria menos ansiosa
6	Progressiva	
7	Regressiva	De 0 ao limite me daria muito pânico
8	Regressiva	
9	Regressiva	Fico mais confortável
10	Regressiva	
11	Progressiva	Menos estressante
12	Regressiva	Prefiro ver descendo do que subindo
13	Regressiva	
14	Regressiva	
15	Progressiva	Faz mais sentido ver o quanto vc está consumindo pra se programar
16	Progressiva	Tens melhor percepção de quanto ainda tem
17	Progressiva	O limite já to preparada q vai acabar
18	Regressiva	

Figura 2 - Pesquisa sobre a preferência do usuário

A pesquisa revelou que esse aspecto de resposta é muito subjetivo, profundamente ligado aos modelos mentais individuais, hábitos, e reações emocionais. Por exemplo, alguns usuários acham a contagem regressiva estressante enquanto outros se sentem motivados. Como resultado, concluímos que ter um modelo de feedback fixo pode não servir todos os usuários igualmente. Essa percepção sugere a necessidade de uma solução mais adaptativa, uma que poderia permitir ao consumidor escolher com base em sua preferência durante a configuração inicial ou através de uma opção na interface. Isso se

alinhará bem com uma abordagem centrada no usuário, melhorando tanto a usabilidade quanto o envolvimento emocional com o sistema.

Tendo isso em conta, o painel LCD fornece o parecer numérico — mostra, de acordo com a preferência do usuário, quanto de água foi usado até então. Isso dá a ele um entendimento claro e objetivo do consumo, e os ajuda a tomar decisões entre continuar ou terminar o banho. Para complementar o painel numérico, incluímos também um indicador LED que serve como um aviso limiar. À medida que o usuário se aproxima do limite, a luz vermelha acende, oferecendo um alerta visual imediato fácil de entender mesmo sem estar olhando diretamente para o painel. Essa resposta por parte do sistema permite que o usuário permaneça focado na sua rotina enquanto ainda está consciente de seu uso.

Além disso, para o processamento de som, integramos um piezo no sistema que desempenha um papel fundamental para moldar a experiência do usuário, fornecendo um *feedback* auditivo que complementa as pistas visuais. Enquanto o painel e o indicador oferecem pareceres informativos e passivos, o piezo introduz um estímulo sensorial ativo que pode evocar respostas cognitivas e emocionais imediatas. O som, como um meio, tem a habilidade de ignorar a sobrecarga cognitiva e gerar atenção automática (Gaver, 1986). No contexto desse projeto, pequenos bips são usados para reforçar estados “críticos”, tal como se aproximar do limite do uso de água ou de completar a sessão de banho, ao sinalizar urgência ou conclusão de tarefas. A interação se alinha com o modelo de design emocional de (Norman, [s.d.]) em que reações repentinas (como um bip do nada) podem provocar conscientização e interromper o comportamento rotineiro, induzindo o usuário a ações mais sustentáveis.

De uma perspectiva cognitiva, alertas auditivos ajudam com a consciência situacional do usuário, principalmente quando a atenção visual é limitada. Por exemplo, quando a pessoa estiver olhando para outro lado, ou de olhos fechados. De acordo com (Wickens et al., 2015), *feedbacks* multimodais melhoram a performance das tarefas ao distribuir a carga cognitiva entre diferentes canais sensoriais. No nosso protótipo, o piezo opera em limiares chave, fornecendo um lembrete não-intrusivo, mas eficaz que promove consciência em tempo real sem precisar manter a atenção constante no painel. Ademais, o piezo contribui para a criação de hábito, ao associar sons distintos com ações ou etapas da tarefa, reforçando dicas comportamentais através de repetição.

Juntos, essas duas formas de respostas — quantitativa (LCD) e qualitativa (LED) — criam uma experiência emocional em camadas. Usuários são gentilmente lembrados de seus objetivos e encorajados a agir com consciência, sem interromper o fluxo da própria rotina. O *feedback* é sutil o suficiente para não se intrometer, mas claro o suficiente para chamar atenção.

O *feedback* no sistema é feito para ser contínuo e não intrusivo. A luz contribui para uma experiência mais confortável. Ao invés de interromper abruptamente o banho ou usando alertas mais agressivos, fornece um sinal não intrusivo que deixa o usuário se adaptar nos seus próprios termos. O sistema não é punitivo — ele educa e encoraja em vez de restringir.

Alinhado com os modelos COM-B e de Verplank, o *feedback* encoraja a reflexão ao longo do tempo. O usuário começa a entender seus padrões de comportamento — pode também promover um sentimento de conquista pessoal. Essa consciência construída aos poucos faz do sistema mais que um monitorador: se torna um espelho pessoal para o comportamento sustentável.

5. Protótipo

O protótipo foi desenvolvido para simular a interação e o mecanismo de *feedback* do usuário para o consumo de água durante os banhos.

a. Arquitetura do sistema

i. Diagrama de Arquitetura

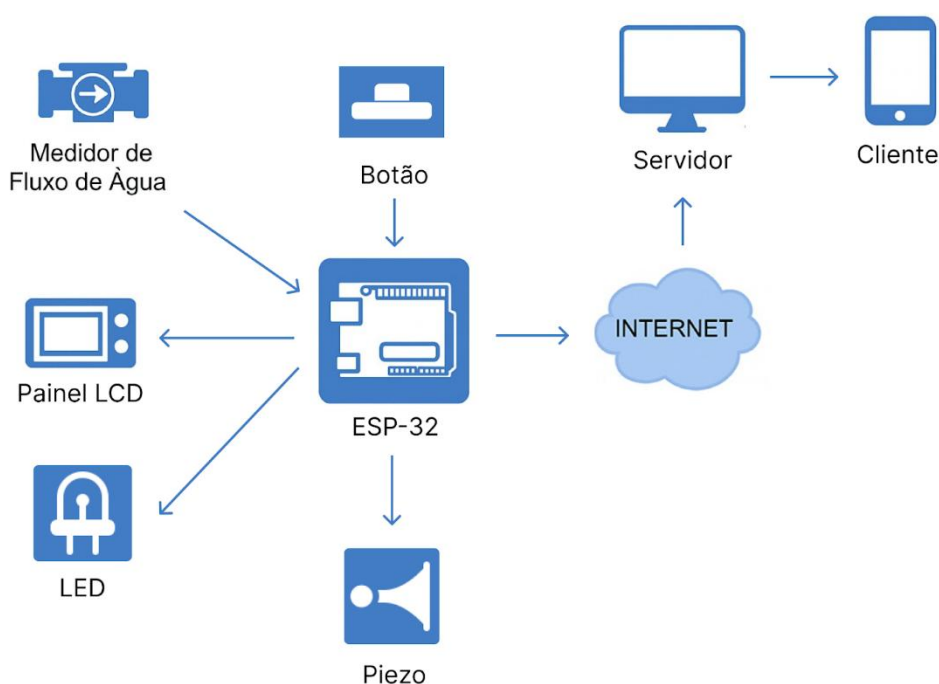


Figura 3 - Arquitetura do sistema

b. Cálculo do Limite de Consumo

Para fazer o cálculo do limite de recursos levamos em conta o uso diário por pessoas recomendado pelas Nações Unidas para necessidades básicas tais como beber, cozinhar, lavar e manter os cuidados básicos. Para descobrir quanto tempo o banho duraria para encaixar nas recomendações, temos que considerar quanto um chuveiro consome por minuto. Já que esses 50 litros diários são para todas as necessidades, precisamos distribuir uma poção para o banho. Supondo que grande parte do total será destinado para esse fim, talvez 20 - 30 litros da sua cota diária. Considerando uma ducha padrão usa por volta de **9.5 litros/minuto** ou uma com consumo otimizado, usando **6-8 litros/minuto** teremos:

	20 litros	30 litros
Ducha padrão	$\frac{20 \text{ litros}}{9,5 \text{ litros/minuto}} = 2.1 \text{ minutos}$	$\frac{30 \text{ litros}}{9,5 \text{ litros/minuto}} = 3.15 \text{ minutos}$
Ducha otimizada	$\frac{20 \text{ litros}}{6 \text{ litros/minuto}} = 3.3 \text{ minutos}$	$\frac{30 \text{ litros}}{6 \text{ litros/minuto}} = 5 \text{ minutos}$

Mesmo que o sistema monitore o consumo de água, o tempo é uma métrica poderosa e intuitiva quando se trata de mudança comportamental. No geral, o tempo é uma medida mais palpável que o volume e o banho são, geralmente, medidos por duração. “Tomei um banho longo hoje” ou “Preciso tomar um banho rápido”. Por isso, apesar do protótipo operar com volume, o usuário vivencia duração, estamos usando o piezo como uma ferramenta comunicativa.

c. Hardware e Componentes

O núcleo do sistema era construído ao redor do Arduino Uno, ele era responsável por integrar os componentes envolvidos e monitorar o uso da água durante o banho, fornecendo resposta do sistema ao usuário. No entanto, para integrar o hardware ao software substituímos o Arduino Uno pelo ESP32 WROVER-B, que coordena a leitura do sensor, o processamento de dados e geração de feedback ao usuário. A montagem foi realizada sobre um protoboard, utilizando os fios de ligação padrão para facilitar alterações durante a fase de testes.

Os principais componentes do circuito incluem:

- Sensor de fluxo de água (YF-S201): Instalado entre a mangueira e a cabeça do chuveiro, este sensor emite uma série de pulsos digitais os quais são lidos por um pino de entrada digital no Arduino e convertidos em uma estimativa do consumo de água em litros;
- Visor LCD 16x2: Este visor fornece feedback visual em tempo real da quantidade de água consumida ou restante. Ele é atualizado continuamente durante o banho;
- Botão: A interação do usuário com o sistema se dá unicamente por este componente já que tem duas funções. Mudar a contagem do sistema — contagem progressiva ou regressiva — e reiniciar o contador manualmente;
- Indicador LED (vermelho): Um LED simples conectado a um resistor de 220 Ω atua como um alerta visual quando o usuário se aproxima de um limite predefinido de consumo de água (por exemplo, 80% de um limite de 50 litros). Isso incentiva a mudança de comportamento, tornando o consumo excessivo perceptível.

- Buzzer Piezoelétrico: Integrado ao sistema como meio de feedback sonoro, o buzzer é acionado em momentos críticos, como ao atingir 80% do limite, como o LED.

Os componentes foram montados com o auxílio de uma placa de ensaio, com fios de ligação padrão conectando cada sensor ou atuador aos pinos do Arduino.

O sistema usa base do software para a lógica do debounce e o mecanismo do tempo para diferenciar entre pressionar uma vez ou duas:

- Pressionar uma vez: Define se a contagem é progressiva ou regressiva;
- Pressionar 2 vezes: Reiniciar manualmente o contador.

Isso foi implementado por medir o intervalo de tempo entre pressas sucessivas e comparando ao limiar (300 milissegundos).

d. Processador e Comunicação

Na versão final do protótipo, o sistema foi migrado do Arduino Uno para a placa ESP32-WROVER-B, para ampliar suas capacidades de processamento e possibilitar a comunicação via Wi-Fi com o servidor. Essa mudança foi motivada pela necessidade de tornar o sistema mais inteligente e conectado, permitindo que os dados de consumo possam ser armazenados e analisados posteriormente por meio da aplicação web.

O código foi adaptado no Arduino IDE para ser compatível com a arquitetura do ESP32, incluindo ajustes nos pinos e na forma de controle do *buzzer*, que passou a utilizar a função *ledcWriteTone()* no lugar de *tone()*.

A conexão com a internet é realizada por meio da biblioteca *Wi-Fi.h*, e os dados são enviados em tempo real para um servidor Node.js utilizando requisições HTTP do tipo POST. O servidor armazena as informações em um arquivo JSON, estruturado para identificar os usuários e registrar o volume de água utilizado em cada sessão. Esse mecanismo permite que os dados possam ser recuperados e exibidos posteriormente na interface do aplicativo, promovendo um acompanhamento mais aprofundado dos hábitos de consumo.

A transição para um microcontrolador com conectividade representa um passo essencial para transformar o protótipo em um sistema funcional de monitoramento e conscientização hídrica, com potencial de expansão para múltiplos usuários e contextos domésticos ou coletivos.

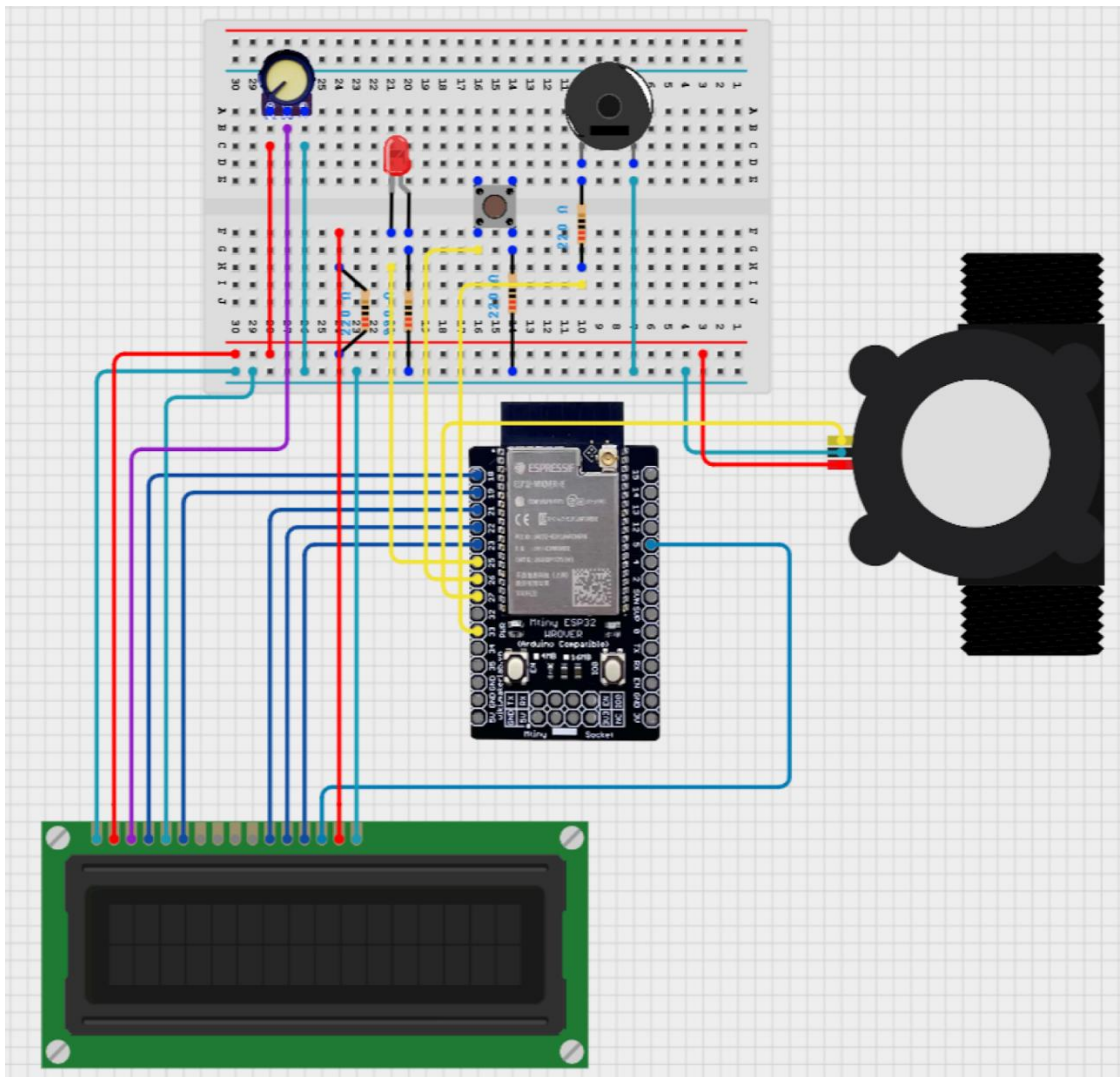


Figura 4 - Circuito do protótipo

e. Comunicação com Servidor

No estágio atual, o sistema não guarda nenhum tipo de dado entre os usos. Assim que o banho termina, todas as informações do consumo são apagadas. Para evoluir o projeto, pensamos em implementar uma forma de registrar esses dados, o que abriria espaço para acompanhar a rotina de consumo ao longo do tempo. Com isso, o utilizador consegue ver a sua média semanal ou comparar o consumo de diferentes dias. Em ambientes com várias pessoas, como casas com família grande ou balneários, os dados poderiam ser anônimos para preservar a privacidade. Esse tipo de funcionalidade ajudaria não só a criar mais consciência, mas também permitiria que o próprio sistema adaptasse os alertas com base no perfil de uso de cada pessoa. No fundo, a ideia é transformar o sistema num aliado diário — algo que não apenas mostra números, mas que também ajuda a entender melhor os próprios hábitos.

Para garantir a comunicação entre o hardware de medição (ESP32) e a aplicação web, foi desenvolvido um servidor backend em Node.js, cuja principal função é receber, processar e distribuir os dados de consumo de água em tempo real.

A ligação entre o microcontrolador e o servidor é feita via comunicação serial. A biblioteca serialport é utilizada para ler os dados transmitidos pelo ESP32 por meio da porta USB. O servidor interpreta esses dados linha a linha com um parser (ReadlineParser), convertendo as mensagens recebidas em objetos compreensíveis que contêm o volume de água gasto em tempo real. Assim que os dados são recebidos, o servidor os transmite imediatamente para todos os clientes conectados à aplicação web por meio da biblioteca socket.io. Além da transmissão em tempo real, o servidor também se responsabiliza por guardar o histórico de consumo de cada utilizador.

Para complementar a coleta e envio de dados, a interface foi planejada para que o utilizador acompanhe seu histórico de consumo. A visualização dos dados foi pensada para favorecer a compreensão rápida e comparativa dos hábitos, por isso escolhemos o gráfico de linha. Assim, podemos comparar e mostrar a evolução contínua ao longo do tempo. A escolha se alinha com os princípios de visualização de informação para dados quantitativos, no qual enfatizam clareza, continuidade e consomem pouco esforço cognitivo na interpretação. De acordo com Edwárt (Tuftte, 2001), gráficos de linha são eficazes para visualizar mudança, variação e distribuição em intervalos contínuos — sendo ideias para monitorar o consumo de água.

No gráfico, o eixo X representa a duração do banho em minutos, enquanto o eixo Y mapeia o volume de água consumido em litros. Essa estrutura permite ao usuário identificar rapidamente padrões, como picos de consumo, duração média, ou evolução ao longo do tempo. Além disso, a sobreposição de linhas de consumo com a linha de média fornece contexto adicional, permitindo comparações visuais simples e intuitivas.

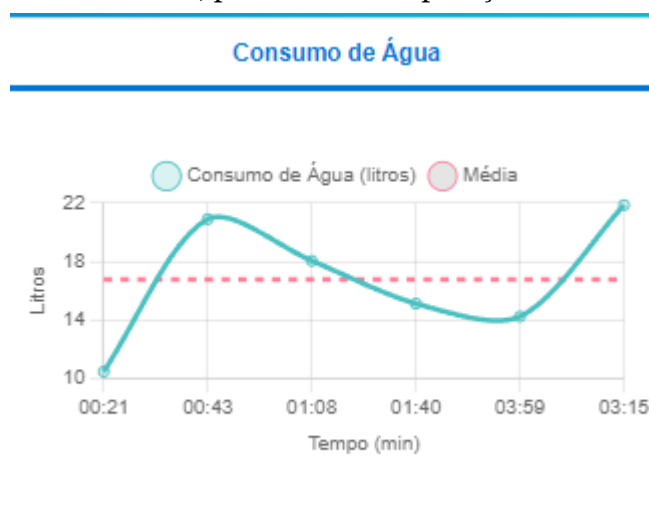


Figura 5 - gráfico de consumo

O gráfico de linha, ao representar tanto sessões individuais como percepções acumulativas em um formato compacto, contribui para o objetivo mais amplo do sistema de permitir o envolvimento cognitivo e emocional com o próprio hábito de consumo.

f. Sonificação dos dados de consumo

Para além da visualização gráfica dos dados, o sistema inclui uma componente de sonificação, que transforma os valores de consumo de água em feedback sonoro interativo. Esta funcionalidade tem como objetivo reforçar a percepção do utilizador

sobre os seus hábitos de consumo através de estímulos auditivos, explorando a ligação entre som e dados quantitativos.

A sonificação é realizada no lado do cliente, utilizando a biblioteca Tone.js, que permite gerar e controlar som diretamente a partir do navegador. Quando o utilizador clica no ícone de som na interface da aplicação, é ativada uma função que lê os valores mais recentes do consumo (armazenados no users.json e enviados pelo servidor) e associa esses valores a parâmetros sonoros como frequência, volume ou intensidade. Por exemplo, valores de consumo mais elevados podem resultar em sons mais graves ou mais intensos, enquanto valores mais baixos podem gerar sons suaves ou agudos. Isto cria uma experiência auditiva que varia de acordo com o comportamento do utilizador, ajudando-o a perceber intuitivamente se está dentro de uma faixa sustentável.

6. Implementação da App

De forma a enriquecer o trabalho desenvolvido nesta unidade curricular, foi criada uma aplicação complementar ao sistema baseado em Arduino, com o objetivo de apresentar ao utilizador os dados relativos ao consumo de água durante o banho. Esta aplicação teve como principal função servir de interface visual e interativa, permitindo o acompanhamento e análise do consumo de forma prática e intuitiva.

Inicialmente, foi elaborado um protótipo da aplicação utilizando a ferramenta Figma. Este protótipo permitiu planear a estrutura da interface, definir a disposição dos elementos e prever a navegação entre as várias páginas da aplicação. No entanto, aquando da transição para a fase de implementação, verificaram-se algumas dificuldades técnicas, o que levou a que o resultado da interface não fosse totalmente fiel ao protótipo original.

A aplicação foi desenvolvida recorrendo a tecnologias web, nomeadamente HTML, CSS e JavaScript. Para a funcionalidade de login, foi utilizado um ficheiro JSON que contém as credenciais de cada utilizador. Cada elemento do grupo possui uma conta distinta na aplicação, permitindo o acesso personalizado a um perfil próprio.

A aplicação é composta por várias páginas, algumas das quais são meramente estáticas, dado que o foco principal do projeto incidiu sobre a integração com os dados recolhidos pelo Arduino. Entre estas páginas encontram-se: Notificações, Comunidade, Registo e Área Pessoal.

A **página de login** permite a autenticação dos utilizadores e o acesso aos dados individualizados. Após o login, o utilizador é redirecionado para a **página "Home"**, a principal da aplicação. Nesta página, é possível visualizar o número de litros de água gastos no último banho, bem como a duração do mesmo. Para além disso, apresenta-se um gráfico com os dados dos últimos banhos, permitindo ao utilizador fazer uma análise comparativa da sua evolução. Esta página inclui ainda uma funcionalidade sonora: ao clicar no ícone do som, são reproduzidos sons distintos de acordo com os valores

apresentados no gráfico, acrescentando uma componente sensorial à experiência de utilização.

A **página "Área Pessoal"**, apesar de ser estática nesta versão, tem como objetivo futuro permitir ao utilizador consultar as suas conquistas, os objetivos do mês e um relatório semanal do seu desempenho. De forma semelhante, a **página "Comunidade"** visa apresentar as conquistas dos restantes utilizadores da aplicação, promovendo um sentido de partilha e motivação coletiva.

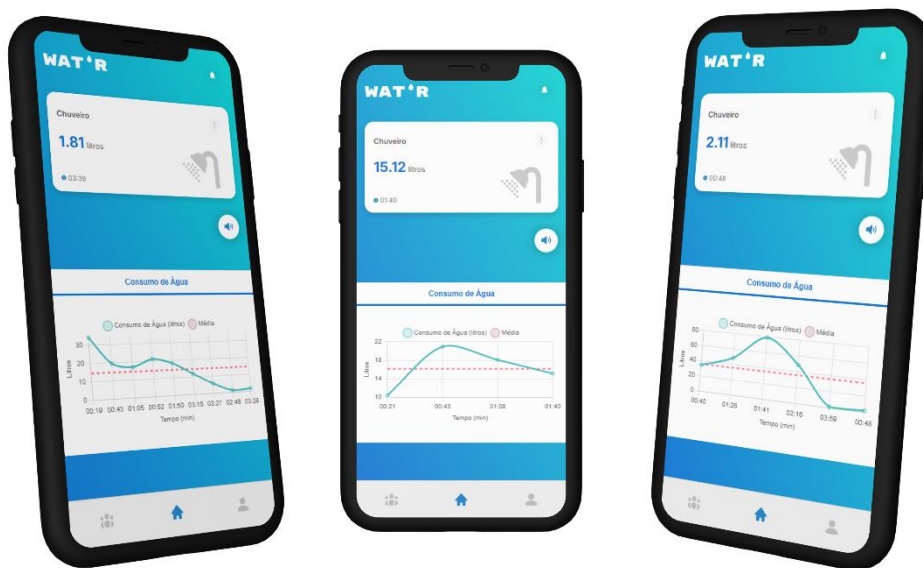


Figura 6 - Mockups da interface

Ao analisar o sistema à luz do modelo COM-B — que considera Capacidade, Oportunidade e Motivação como pilares para a mudança de comportamento — é possível perceber como cada um desses elementos está presente de forma integrada na proposta. A capacidade surge quando o utilizador passa a entender melhor o seu consumo, através de dados visíveis e objetivos. A oportunidade está na facilidade de acesso e simplicidade do sistema, que se adapta à rotina sem exigir grandes mudanças ou conhecimentos técnicos. Já a motivação é estimulada tanto pelo feedback imediato (luz, alarme e visor), como pela possibilidade de configurar metas ou escolher a forma de visualização preferida. Em conjunto, esses três fatores criam um ambiente favorável à transformação de hábitos. O mais importante é que essa mudança não acontece por imposição, mas por consciência e escolha — exatamente o tipo de abordagem que o COM-B valoriza. Ao alinhar o design com esses princípios, o projeto mostra que é possível usar a tecnologia não só para medir, mas para transformar comportamentos de forma duradoura.

7. Planejamento e execução do Projeto

O desenvolvimento do sistema foi guiado por um cronograma estruturado que aborda as principais fases do processo de design: pesquisa, conceptualização, prototipagem, teste e integração do sistema. Durante as primeiras semanas, fizemos pesquisas para entender o problema e conhecer as soluções que já existem. A próxima fase dedicamos para

consolidar o conceito, construir o protótipo. Fizemos também pesquisas de campo que ajudaram a aperfeiçoar o sistema.

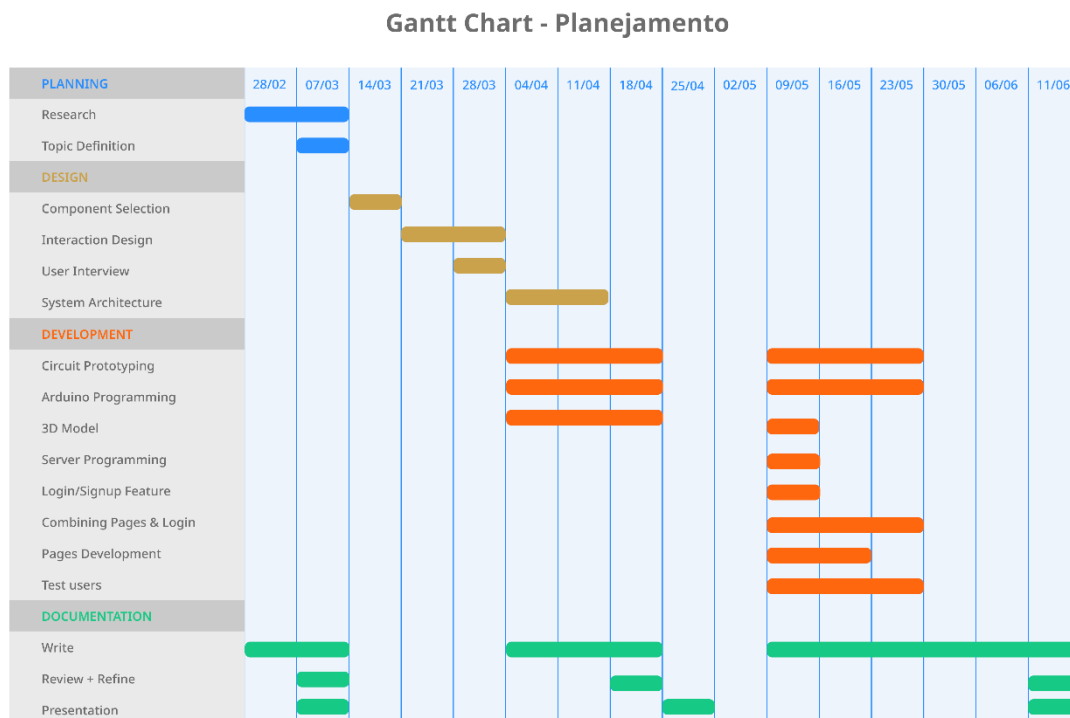


Figura 7 - Diagrama de Planejamento

Com a sugestão do professor, depois da apresentação da meta 2, o projeto seguiu um cronograma definido no diagrama de Gantt (Figura 7), no qual distribui as tarefas ao longo do semestre. À medida que o projeto avançou, identificamos a necessidade de conectividade e escalabilidade, o que levou ao Arduino ser substituído por outro microprocessador. A mudança apresentou um novo desafio técnico e estendeu a fase de integração além do cronograma original. As configurações do Wi-Fi e a comunicação de servidores, exigiu mais tempo de desenvolvimento (Figura 8), assim como testar o fluxo de dados do ESP32 para o backend e ir buscar os dados para usá-los na app. Apesar desses ajustes a estrutura essencial do projeto permaneceu consistente com o plano original.

A comparação entre o cronograma proposto e o real mostra como a prototipagem demanda iteração e flexibilidade. Enquanto umas tarefas demoraram mais que o esperado, outras — como teste e desenvolvimento do *frontend* — foram realizadas no tempo esperado. No geral, o processo de planejamento forneceu uma base sólida, mas a habilidade do grupo de se adaptar permitiu a evolução do projeto em um sistema integrado.

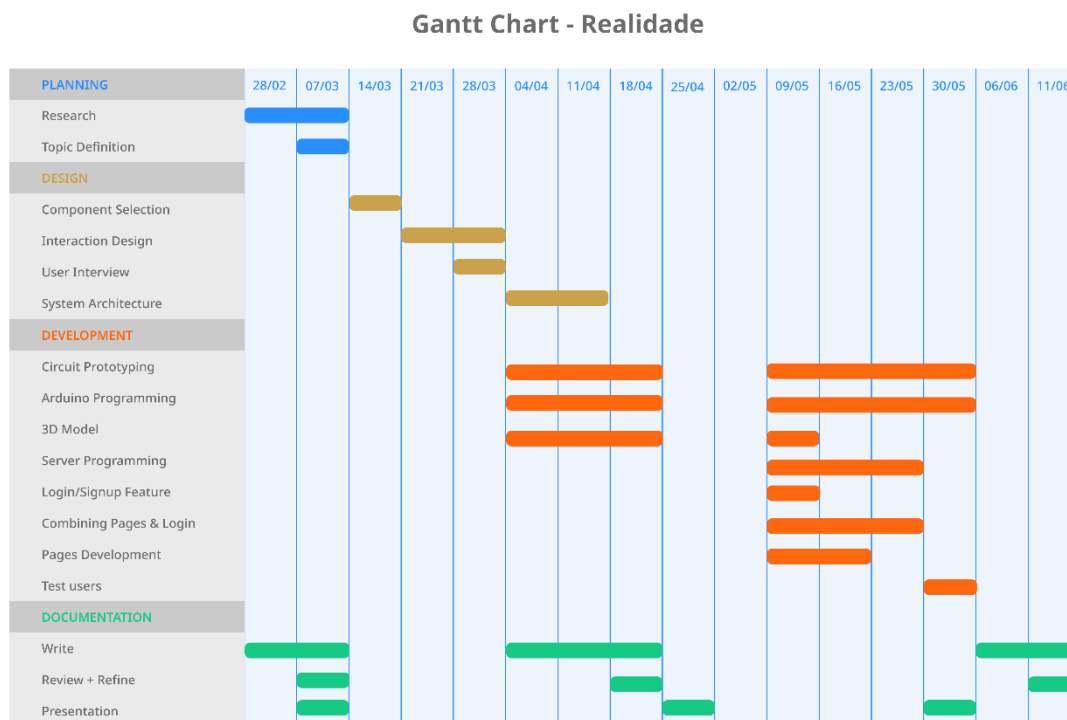


Figura 8 - Representação do trabalho do semestre

8. Conclusão

A urgência crescente da escassez dos recursos hídricos (Willis et al., 2011), intensificou tanto os fatores comportamentais quanto fatores ambientais, destacando a necessidade de soluções que não são apenas eficientes, mas envolventes emocionalmente e cognitivamente. O projeto propõe um sistema de monitoramento de baixo custo que alavanca os princípios de design de interação para promover o uso consciente de água no banho — uma das atividades domésticas com maior consumo.

Através do modelo de interação de Verplank e a estrutura do comportamento COM-B, o protótipo foi desenhado não apenas para funcionar tecnicamente, mas também para apoiar a mudança de comportamento. Ao prover uma resposta visual do sistema pelo painel LCD e a luz LED e auditiva pelo piezo, e habilitar o controle do usuário por uma interface simples, a solução introduz uma forma intuitiva para que as pessoas monitorem e reflitam sobre seus hábitos de consumo.

Pesquisas de usuários indicam preferências diversas sobre como cada um recebe o *feedback*, particularmente entre a contagem progressiva ou regressiva. Esse entendimento informa que a implementação de duas funções do botão, permitirá que os usuários selecionem seu modo preferido de *feedback* e reforça a habilidade do sistema de adaptação à diferentes perfis. Esses entendimentos são fulcrais para preencher a lacuna entre consciência e ação — entre saber e fazer.

Embora o protótipo inicial não armazenasse os dados nem estivesse conectado a plataformas externas, nas fases seguintes do desenvolvimento essa integração foi implementada com sucesso. O sistema agora envia os dados de consumo em tempo real para um servidor remoto, onde são organizados e associados a cada sessão de

banho. Isso permite a visualização do histórico de consumo e o monitoramento das atividades, tanto pelo próprio usuário quanto, potencialmente, por membros de uma mesma residência.

Com o sistema conectado, o projeto deixa de ser apenas um monitoramento em tempo real e passa a atuar como uma ferramenta de reflexão de longo prazo, oferecendo aos usuários a possibilidade de acompanhar sua evolução, identificar padrões de comportamento e estabelecer metas.

Em última análise, esse trabalho demonstra como pequenos sistemas embarcados — quando fundamentados nos princípios do design de interação e na psicologia comportamental — podem ajudar a criar impactos ambientais significativos. Enquanto mudanças sistêmicas na indústria e políticas são cruciais para abordar a escassez hídrica global, empoderar indivíduos com ferramentas para melhor compreensão e controle de seu próprio comportamento é igualmente parte de uma solução.

Referências

- Commission on Environment, W. ([s.d.]). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Towards Sustainable Development 2. Part II. Common Challenges Population and Human Resources 4.*
- Datta, S., Miranda, J. J., Zoratto, L., Calvo-González, O., Darling, M., & Lorenzana, K. (2015). *A Behavioral Approach to Water Conservation Evidence from Costa Rica*. <http://econ.worldbank.org>.
- Davenport, C. (2015). Your shower is wasting huge amounts of energy and water. Here's what to do about it. Em <https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2015/03/04/your-shower-is-wasting-huge-amounts-of-energy-and-water-heres-what-to-do-about-it/>.
- Exame. (2023). *Banho passou de 10 minutos e desperdício*. <https://exame.com/tecnologia/banho-passou-de-10-minutos-e-desperdicio/>.
- Gaver, W. (1986). Auditory Icons: Using Sound in Computer Interfaces. *Human-Computer Interaction*, 2(2), 167–177. https://doi.org/10.1207/s15327051hcio202_3
- JusBrasil. ([s.d.]). *Aplicação da tabela progressiva no serviço de fornecimento e de distribuição de água para condomínios*. <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/aplicacao-da-tabela-progressiva-no-servico-de-fornecimento-e-de-distribuicao-de-agua-para->

condominios/608631588#:~:text=Afim%20de%20incentivar%20o%20
oracionamento,patamares%2C%20instituindo%2C%20assim%2C%20
as.

Kals, E., Schumacher, D., & Montada, L. (1999). *EMOTIONAL AFFINITY TOWARD NATURE AS A MOTIVATIONAL BASIS TO PROTECT NATURE*.

Norman, D. A. ([s.d.]). *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*.
<https://www.researchgate.net/publication/224927652>

ONU Brasil. (2023). *Consumo vampírico está esgotando água no mundo, afirma Secretário-Geral da ONU*. <https://brasil.un.org/pt-br/224386-consumo-vamp%C3%ADrico-est%C3%A1-esgotando-%C3%A1gua-no-mundo-afirma-secret%C3%A1rio-geral-da-onu>.

The Decision Lab. (2022). *The COM-B Model for Behavior Change*.
<https://thedecisionlab.com/reference-guide/organizational-behavior/the-com-b-model-for-behavior-change>.

Tufte, E. (2001). *The Visual Display of Quantitative Information*.

Water Footprint Network. ([s.d.]). *What is Water Footprint Assessment?*
<https://www.waterfootprint.org/water-footprint-2/what-is-water-footprint-assessment/>.

Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2015). *Engineering Psychology and Human Performance*. Psychology Press.
<https://doi.org/10.4324/9781315665177>

Worldometers. ([s.d.]). *Water Statistics*. Em
<https://www.worldometers.info/water/>.