



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Química

Ana Luísa Gonçalves de Carvalho

Guilherme Ferreira Lenzolari

**Desenvolvimento de Software de Avaliação de Viabilidade
do Reaproveitamento de Água Pluvial em Residências**

Campinas
2024

Ana Luísa Gonçalves de Carvalho
Guilherme Ferreira Lenzolari

**Desenvolvimento de Software de Avaliação de Viabilidade do
Reaproveitamento de Água Pluvial em Residências**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Química da Universidade
Estadual de Campinas como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Química.

Supervisor: Prof. Dr. Edson Tomaz

Este trabalho corresponde à versão final do
Trabalho de Conclusão de Curso defendido por
Ana Luísa Gonçalves de Carvalho e por
Guilherme Ferreira Lenzolari e supervisionado
pelo Prof. Dr. Edson Tomaz.

Campinas
2024

DECLARAÇÃO DE AUTORIA

Nós, Ana Luísa Gonçalves de Carvalho e Guilherme Ferreira Lenzolari, declaramos que esse trabalho é de autoria própria e que as partes que não o são foram referenciadas ao longo de todo o trabalho.

Campinas, 31 de maio de 2024.

We've always defined ourselves by the ability to overcome the impossible. And we count these moments. These moments when we dare to aim higher, to break barriers, to reach for the stars, to make the unknown known. We count these moments as our proudest achievements. But we lost all that. Or perhaps we've just forgotten that we are still pioneers. And we've barely begun. And that our greatest accomplishments cannot be behind us, that our destiny lies above us.

(Interstellar - Christopher Nolan)

Agradecimentos

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais, pela paciência, amor e apoio incondicional durante toda a minha jornada acadêmica. À minha irmã, por sempre acreditar em mim e me incentivar a seguir em frente. Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos momentos de desafio e alegria. Em especial, ao Anderson, pela valiosa ajuda no design do aplicativo. A todos vocês, minha eterna gratidão.

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software destinado a avaliar a viabilidade técnica e econômica da captação e reutilização de água pluvial em residências. Em vista da crescente demanda por recursos hídricos, agravada pelas mudanças climáticas e pelo uso insustentável, a necessidade de soluções inovadoras para a conservação de água é imperativa.

O principal objetivo do software é auxiliar a tomada de decisões da população em geral sobre a implementação de sistemas de captação de água da chuva, fornecendo análises detalhadas sobre os aspectos técnicos e econômicos. Para isso, o software considera variáveis como volume de precipitação, área de captação, custos de instalação e manutenção, além de fornecer estimativas de economia de água e retorno sobre o investimento.

A metodologia adotada envolve a definição da demanda de água potável e de água pluvial, utilizando dados de consumo médio e precipitação anual da cidade de Campinas - SP. O software calcula o volume de água captada com base na área de captação e na eficiência do sistema, e realiza um balanço de massa para determinar o volume de água disponível ao longo do tempo. Com essas informações, avalia-se o desempenho do sistema em termos de economia de água potável e custos de instalação e operação. A análise financeira é complementada com a avaliação do *payback*, ou seja, o tempo necessário para que os investimentos sejam recuperados através da economia gerada pelo uso da água pluvial.

Por fim, a implementação computacional do software foi realizada utilizando a linguagem de programação Swift e o framework SwiftUI, que oferecem uma abordagem eficiente e segura para o desenvolvimento de aplicativos iOS. O design das interfaces seguiu as diretrizes da Apple, garantindo uma experiência de usuário intuitiva e consistente.

Os resultados obtidos através das simulações variam conforme os inputs de cada usuário e demonstram que o uso de sistemas de captação de água da chuva pode proporcionar uma significativa redução no consumo de água potável para fins secundários, especialmente em atividades como irrigação de jardins, lavagem de veículos e descarga de vasos sanitários, por exemplo. Em termos financeiros, a economia gerada pode justificar o investimento inicial em um período relativamente curto, dependendo das condições específicas de cada usuário.

Lista de Figuras

3.1	Esquema de um sistema de coleta de águas pluviais em uma residência	14
4.1	Precipitação Média entre 1990 a 2023	18
4.2	Design de alta fidelidade criado na ferramenta Figma	22
5.1	Telas do aplicativo de escolha do tipo de perfil e percentual de substituição. Figura (a) e Figura (b)	27
5.2	Telas do aplicativo de exibição dos resultados detalhados. Figura (c) e Figura (d)	28
5.3	Didática do aplicativo. a) página inicial b) tela "Usos da água tratada"com conhecimentos conhecimentos gerais sobre o assunto	29
A.1	Trecho do código de uma ViewModel	34
A.2	Trecho do código de uma View	35
A.3	Print do ambiente de desenvolvimento do app: Xcode	36

Lista de Tabelas

4.1	Preço de água 2023 - Categoria Residencial Padrão - (SANASA, 2024)	19
4.2	Média de preço para custo de cisternas para armazenagem de água pluvial	20
5.1	Dados de Entrada	24
5.2	Resultados da simulação utilizando 30% de substituição em um reservatório de 4.000L	25
5.3	Resultados da Simulação 1: 30% de Substituição	25
5.4	Resultados da Simulação 2: 35% de Substituição	25
5.5	Resultados da Simulação 3: 40% de Substituição	26

Sumário

1	Introdução	10
2	Objetivos	12
3	Revisão bibliográfica	13
3.1	Sistemas de captação de água pluviais	13
3.2	Conceitos de análises técnico-econômicas	15
4	Metodologia	17
4.1	Cálculo da Demanda de Água	17
4.1.1	Demanda de Água Potável	17
4.1.2	Demanda de Água Pluvial	17
4.1.3	Dados de Precipitação	18
4.1.4	Balanço de Massa	18
4.1.5	Avaliação do Desempenho	19
4.1.6	Análise econômica	20
4.2	Criação e implementação de Layouts	21
4.3	Implementação Computacional	22
5	Resultados e Discussão	24
6	Conclusão	30
	Referências bibliográficas	32
A	Primeiro Apêndice	34

Capítulo 1

Introdução

A água é um recurso essencial para a sobrevivência da humanidade e para o funcionamento de nossas sociedades. No entanto, conforme aponta o Relatório Global das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2018 ([UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2018](#)), a necessidade mundial de água aumentará de 20% a 30% (alcançando um volume entre 5.500 e 6.000 km³/ano) até o ano de 2050. Além disso, desafios relacionados à escassez e poluição desse recurso vital fazem parte de uma realidade global crescente devido a fatores como as mudanças climáticas, o aumento da população e o uso insustentável dos recursos hídricos, colocando em risco a qualidade e a disponibilidade de água potável.

Nesse contexto, a implementação de sistemas de captação e armazenamento de água da chuva em unidades residenciais apresenta-se como uma alternativa que contribui para a conservação e uso sustentável desse recurso, uma vez que construções que utilizam fontes alternativas para o consumo de água podem alcançar uma economia de 15% a 30% de água potável

De acordo com a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo ([FIESP, 2005](#)) em 2005, o dimensionamento de projetos destinados ao reuso da água da chuva deve ser baseado na demanda a ser atendida por essa fonte de água e nas características pluviométricas locais. Além disso, quando a água da chuva é direcionada para fins menos críticos, como a irrigação de jardins ou a lavagem de áreas externas, ela não necessita de tratamento avançado, resultando em uma redução significativa do consumo de água de alta qualidade. Essa prática não apenas contribui para a conservação de água potável, mas também oferece benefícios financeiros, incentivando a adoção desse tipo de projeto.

É importante ressaltar também que a incorporação de sistemas de captação e armazenamento de água da chuva pode apresentar um ganho financeiro e essa abordagem deve ser considerada

não apenas pelos benefícios econômicos que oferece, mas também pela necessidade de preservar e proteger nosso recurso hídrico vital para as gerações futuras ([SANT'ANA D BOEGER D., 2013](#)).

O foco da incorporação de sistemas de captação e armazenamento de água da chuva se estabelece em fins não potáveis como a irrigação de jardins, a descarga de vasos sanitários e a lavagem de veículos. Promovendo, com isso, a utilização sustentável da água e mitigando os desafios globais de escassez e poluição hídrica.

À medida que a tecnologia se torna cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, surgem softwares que aprimoram a tomada de decisões. Dois aplicativos que se destacam são CAPCHU ([MIERZWA, 2016](#)) e Sai Desse Banho ([MÍDIA INTERATIVA LTDA, 2011](#)). CAPCHU é uma ferramenta que ajuda a dimensionar reservatórios de captação de água da chuva, permitindo um uso mais eficiente desse recurso natural. Enquanto isso, o Sai Desse Banho auxilia na contabilização do gasto de água em cada banho, incentivando a conscientização sobre o consumo e promovendo a economia de água. Utilizando a tecnologia, podemos capacitar indivíduos e comunidades e simplificar o acesso a orientações técnico-financeiras que promovem escolhas informadas sobre o reaproveitamento de água pluvial, impulsionando a conscientização e a adoção de práticas sustentáveis. Esses aplicativos exemplificam como a inovação e a tecnologia desempenham um papel fundamental na conservação da água, facilitando a gestão desse recurso vital.

Capítulo 2

Objetivos

O trabalho tem como objetivo a otimização da modelagem técnico-financeira para sistemas de reaproveitamento de água pluvial em residências. A fim de democratizar estas análises e aproveitando o avanço das ferramentas tecnológicas existentes, foi desenvolvido um aplicativo mobile. Esse aplicativo permite o cálculo interativo de projetos, adaptando-se às entradas e necessidades específicas de cada usuário.

Por meio deste aplicativo, os usuários recebem informações detalhadas sobre os aspectos técnicos e econômicos envolvidos na implementação de sistemas de captação e utilização de água da chuva. As variáveis consideradas incluem volume de precipitação, área de captação, custos de instalação e manutenção. Além disso, o aplicativo fornece estimativas de economia de água e retorno sobre o investimento.

Dessa forma, a ferramenta busca não apenas facilitar o processo de análise para os usuários, mas também promover uma maior adoção de práticas sustentáveis em residências. A capacidade de personalizar os cálculos de acordo com as necessidades individuais torna o aplicativo uma ferramenta valiosa para quem deseja implementar sistemas de reaproveitamento de água pluvial de maneira eficiente e econômica.

Capítulo 3

Revisão bibliográfica

3.1 Sistemas de captação de água pluviais

O consumo de água é dividido entre os usos urbano, industrial e agrícola. Em áreas urbanas, o consumo residencial é significativo, representando mais de 50% do total. Na região metropolitana de São Paulo, por exemplo, o consumo residencial corresponde a 84,4% do total urbano (TOMAZ, 2000). Esse consumo residencial depende de diversos fatores, incluindo comportamento dos moradores, clima e características físicas das habitações (ARBUÉS; GARCÍA-VALIÑAS; MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA, 2003). No Brasil, o consumo per capita médio é de 141 L/hab.dia, com variações regionais significativas de acordo com o relatório do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMMS) de 2003 disponibilizado pela Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional (SNS).

A conservação de água potável envolve ações para reduzir o consumo e o desperdício de água, além de promover o uso eficiente e o reúso (SANTOS, 2002). Nesse contexto, a captação de água pluvial é uma prática antiga que tem ganhado relevância significativa devido à crescente escassez de água potável e à necessidade de soluções sustentáveis para a gestão de recursos hídricos. Os sistemas de captação de água da chuva envolvem a coleta e o armazenamento de água das precipitações para uso não potável, como irrigação de jardins, descargas sanitárias e lavagem de roupas. Esses sistemas podem ser aplicados tanto em áreas urbanas quanto rurais, oferecendo uma alternativa viável para a redução do consumo de água tratada e a mitigação de enchentes urbanas. Um esquema adaptado de coleta de água de chuva é expresso na Figura 3.1, adaptada de (GONÇALVES, 2003).

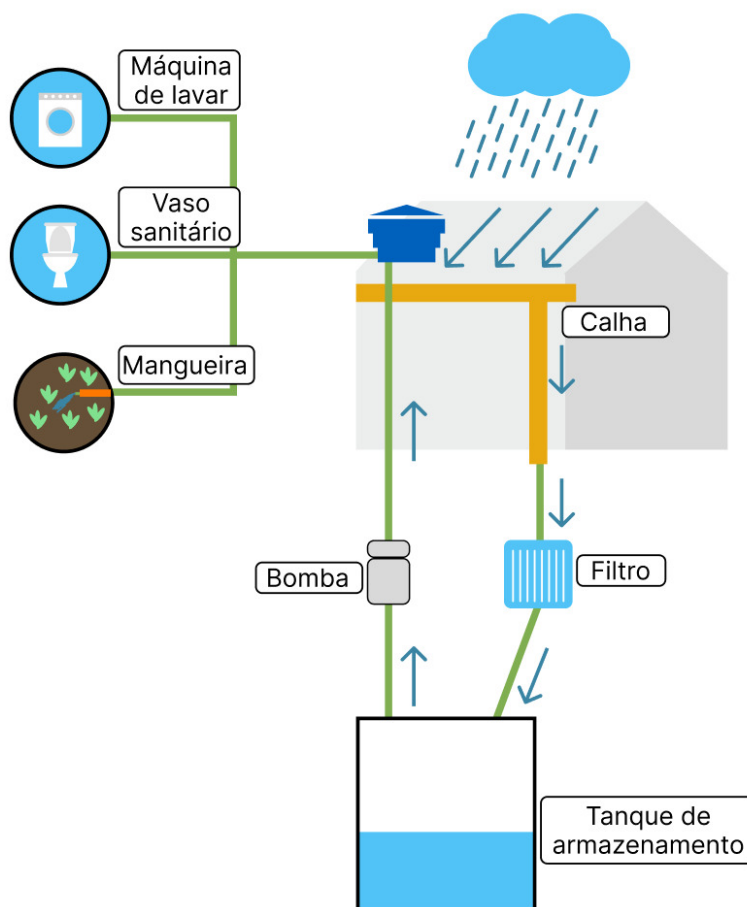


Figura 3.1: Esquema de um sistema de coleta de águas pluviais em uma residência

Fonte: Autoria própria - Adaptado de Gonçalves, 2004

A relevância da engenharia química neste contexto reside na aplicação de princípios de processos químicos e ambientais para otimizar a qualidade da água coletada e garantir sua adequada utilização. Além disso, a engenharia química contribui com técnicas de tratamento da água, avaliação da eficiência dos sistemas de captação e análise de viabilidade econômica. Segundo (AL., 2006), a captação de água pluvial pode reduzir significativamente a demanda por água potável em residências, dependendo das condições climáticas e da eficiência do sistema instalado.

Uma preocupação central para a utilização da água da chuva em aplicações residenciais é a sua qualidade. Embora seja relativamente limpa ao ser coletada, a água da chuva pode ser contaminada por poluentes atmosféricos, materiais de cobertura e sistemas de armazenamento inadequados. A fim de garantir a segurança da água armazenada, (GHISI; FERREIRA, 2012)

recomendam a implementação de sistemas de filtragem e desinfecção com cloro, o que é suficiente para assegurar a qualidade da água.

3.2 Conceitos de análises técnico-econômicas

O custo de capital de investimento (CAPEX) é definido por (BRENNAN, 2020) como o custo total do projeto, construção, despesas com terreno e instalação de uma fábrica, bem como as necessárias modificações para finalizá-la de modo satisfatório. Segundo (TURTON et al., 2014), o CAPEX pode ser dividido em algumas principais categorias, como a aquisição dos principais equipamentos, obras de instalação e custos externos (*offsite costs*), que incluem gastos com adições necessárias para acomodar uma nova instalação ou aumento da capacidade de uma operação já existente.

No contexto do desenvolvimento de um sistema de captação de água pluvial em residências, o CAPEX incluiria os custos de aquisição dos equipamentos necessários (como calhas, filtros e tanques de armazenamento), a infraestrutura para a instalação do sistema e possíveis modificações nas estruturas existentes para acomodar o novo sistema.

O custo operacional (OPEX) é definido por (BRENNAN, 2020) como todos os custos associados à produção, distribuição e comercialização de produtos, além dos custos de desenvolvimento, manutenção e aquisição de tecnologias para o funcionamento do processo. (TURTON et al., 2014) classificam o OPEX como os custos operacionais que afetam significativamente a viabilidade econômica da planta, incluindo gastos com utilidades, custos com funcionários e custos gerais, que envolvem manutenção, royalties, embalagens, empacotamento, seguros, distribuição, venda e pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Para um sistema de captação de água pluvial, os custos operacionais incluirão a manutenção regular dos sistemas de coleta e armazenamento, tratamento da água captada para usos específicos e quaisquer custos de energia associados ao bombeamento ou tratamento da água.

O tempo de retorno ou payback simples é definido como o período necessário para recuperar um certo investimento. O payback simples não considera o valor do dinheiro no tempo, mas o payback descontado sim. O tempo de retorno é uma medida de liquidez do investimento e, embora útil, deve ser utilizado em conjunto com outros parâmetros econômicos para uma avaliação completa da viabilidade de um projeto (TURTON et al., 2014).

Por fim, o valor presente líquido (VPL) é um parâmetro econômico que refina a análise econômica considerando o valor do dinheiro no tempo. Essa metodologia converte todas as saídas e entradas de caixa para valores financeiros atuais e os compara com o investimento inicial. Um VPL positivo indica que o projeto deve ser aceito, enquanto um VPL negativo sugere rejeição do projeto.

A fórmula para o cálculo do VPL no contexto do seu projeto pode ser expressa como:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{R_t - C_t}{(1 + i)^t} - I_0 \quad (3.1)$$

Onde:

- R_t é a receita no tempo t
- C_t é o custo no tempo t
- i é a taxa de desconto
- I_0 é o investimento inicial

Essa fórmula permite avaliar se o investimento inicial e os custos operacionais são superados pelas receitas geradas pela economia de água e outros benefícios do sistema de captação de água pluvial ao longo do tempo.

Capítulo 4

Metodologia

4.1 Cálculo da Demanda de Água

4.1.1 Demanda de Água Potável

A demanda total de água potável (D) é calculada multiplicando o consumo médio de água potável (C) por pessoa pelo número de residentes (n) e pelo número de dias analisados, expresso na Equação 4.1.

$$D = C \times N \times dias \quad (4.1)$$

Para o consumo médio por pessoa, estima-se que a média de consumo por pessoa é de aproximadamente 148L/dia no Brasil. (MURAKAMI, 2012)

4.1.2 Demanda de Água Pluvial

A água pluvial é considerada uma água para fim secundário, logo, suas aplicações se restringem a aplicações não potáveis como lavagem de roupas, irrigação de jardins, etc. Tais aplicações podem representar entre 30% a 40% do consumo total de água. (BARRETO, 2008)

O volume de água da chuva que pode ser captado é calculado utilizando a Equação 4.2 em que Q é o volume de água captada em litros, P é a precipitação média anual em mm, A é a área de captação em m^2 e C é o coeficiente de aproveitamento.

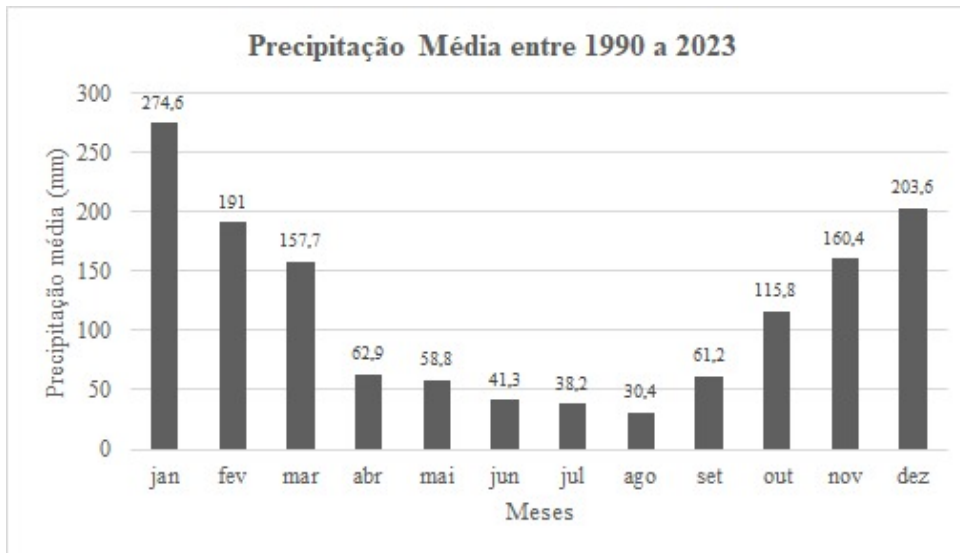
$$Q = P \times A \times C \quad (4.2)$$

O coeficiente de aproveitamento (C) representa a eficiência do sistema de captação na coleta de água da chuva. Conforme descrito por Ghisli, 2007, pode-se assumir 0,80 como um valor típico que assume perdas por evaporação, vazamentos e outras ineficiências durante a captação de água pluvial.

4.1.3 Dados de Precipitação

Os dados de precipitação utilizados baseiam-se nos registros do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI, 2024) da Unicamp para a região de Campinas-SP entre 1990 e 2023, expressos na Figura 4.1.

Figura 4.1: Precipitação Média entre 1990 a 2023



Fonte: CEPAGRI, 2024

4.1.4 Balanço de Massa

Para determinar o volume de água pluvial coletado e disponível após o dimensionamento do reservatório, realizou-se um balanço de massa descrito na Equação 4.3.

$$S(t) = Q(t) + S(t - 1) - D(t) \quad (4.3)$$

Onde:

- $Q(t)$ é o volume de água pluvial no tempo.
- $S(t)$ é o volume de água pluvial no reservatório no tempo.

- $S(t - 1)$ é o volume de água pluvial no reservatório no tempo anterior.
- $D(t)$ é o consumo ou demanda de água pluvial no tempo.

4.1.5 Avaliação do Desempenho

Após calcular o volume de água pluvial disponível, avaliamos quanto dessa água atende à demanda média da residência e o potencial de economia de água potável. A economia de água potável é calculada comparando-se a demanda de água potável com o volume de água pluvial captada e utilizada. Utilizamos a lógica da Equação 4.4. Sendo E a economia de água potável (litros), D a demanda de água potável (litros) e Q o volume de água pluvial utilizada (litros).

$$E = D - Q \quad (4.4)$$

Para avaliar a economia em reais (R\$), multiplica-se a economia de água (litros) pelo custo médio da água na região. Como referência de tarifas de água, o software utiliza-se das tarifas de água e esgoto para a categoria residencial padrão do ano de 2023 disponibilizadas pela Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento (SANASA, 2024), expressos na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Preço de água 2023 - Categoria Residencial Padrão - (SANASA, 2024)

Faixas de Consumo (m³/mês)	Água Tratada	Coleta e Afastamento de Esgoto		Tratamento de Esgoto	
	Tarifa (R\$/m³)	Tarifa (R\$/m³)	Parcela a Deduzir (R\$)	Tarifa (R\$/m³)	Parcela a Deduzir (R\$)
De 0 até 10	45,94	36,75	0,00	19,76	0,00
De 11 a 15	8,53	6,83	39,36	3,65	16,74
De 16 a 20	8,72	6,98	42,21	3,75	18,24
De 21 a 25	8,94	7,12	46,61	3,86	20,44
De 26 a 30	10,98	8,77	97,61	4,71	41,69
De 31 a 50	11,68	9,34	118,61	5,03	51,29
Acima de 50	17,93	14,3	431,11	7,7	184,79

Outro parâmetro de avaliação de desempenho do sistema é a porcentagem de atendimento da demanda de água pluvial em relação ao potencial total de captação, dada pela Equação 4.5.

$$\text{Atendimento (\%)} = \frac{Q_{\text{atendido}}}{Q_{\text{demanda}}} \times 100 \quad (4.5)$$

Onde:

- Q_{atendido} é o volume de água pluvial captada e utilizada.
- Q_{demanda} é a demanda total de água pluvial.

4.1.6 Análise econômica

O principal valor de custos de investimentos do projeto é representado pelo reservatórios. Nesse sentido, como referência de preço estão apresentados na Tabela 4.2 os valores médios por tamanho em litros e custo em reais.

Tabela 4.2: Média de preço para custo de cisternas para armazenagem de água pluvial

Tamanho do Reservatório (L)	Custo do Reservatório (R\$)
0 - 600	R\$ 1.420,63
600 - 1000	R\$ 1.844,50
1000 - 1600	R\$ 3.265,13
1600 - 2000	R\$ 3.498,33
2000 - 3000	R\$ 5.342,83
3000 - 5000	R\$ 5.782,45
5000 - 7000	R\$ 9.280,78
7000 - 10000	R\$ 11.564,90

Outros indicadores que também referem-se ao investimento inicial necessário para a aquisição e instalação do sistema são os componentes como bomba, tubulações, conexões e clorador.

A bomba é necessária para transferir a água captada do reservatório para os pontos de uso dentro da residência. O custo estimado para a bomba é de aproximadamente R\$ 150 pela média de bombas de até 20m de elevação de água. Já as tubulações e conexões são componentes considerados para interligar o sistema de captação de água da chuva, o reservatório e os pontos de uso. O custo estimado para tubulações e conexões é de R\$ 100. Por fim, o clorador é utilizado para garantir a qualidade da água armazenada no reservatório, adicionando cloro à água para desinfecção e prevenção de contaminações. O custo estimado para o clorador é de R\$ 150. Nesse sentido, ao valor do CAPEX é somado o custo do reservatório de volume a ser definido pelas simulações do software, juntamente com R\$ 400,00 dos custos adicionais dos componentes.

No caso do sistema proposto, o custo de manutenção (OPEX) é relativamente baixo. Vários fatores contribuem para esse baixo custo devido a simplicidade dos componentes principais do sistema, como a bomba, tubulações, conexões e o clorador, que são simples e de fácil

manutenção, resultando em menores custos de reparo e substituição; durabilidade dos materiais; baixo consumo de energia, pois a bomba tem um consumo de energia relativamente baixo, o que reduz significativamente os custos operacionais de energia elétrica; e manutenções preventivas para garantia de funcionamento permanente da operação.

4.2 Criação e implementação de Layouts

Para o desenvolvimento do layout do aplicativo, utilizamos a ferramenta de design Figma, reconhecida por sua eficiência e flexibilidade no processo de criação de interfaces de usuário. A escolha do Figma se deu por suas características colaborativas, permitindo a interação simultânea entre os membros da equipe de desenvolvimento, e pela possibilidade de criar protótipos interativos que facilitam a visualização do fluxo de navegação e a validação das funcionalidades planejadas.

O design das interfaces seguiu os conceitos e diretrizes estabelecidos nas Human Interface Guidelines (HIG) da Apple ([APPLE, 2019](#)). As HIG são um conjunto de recomendações fornecidas pela Apple que ajudam a criar experiências consistentes e intuitivas para os usuários em dispositivos iOS. Essas diretrizes abrangem aspectos como a estrutura da interface, a navegação, a tipografia, as cores e a iconografia, garantindo que o aplicativo não só atenda aos padrões de usabilidade, mas também ofereça uma experiência visual agradável e coerente com o ecossistema iOS.

Para a criação dos protótipos de alta fidelidade, foi utilizado o pacote de componentes nativos do iOS 17 disponibilizado pela Apple. Esse pacote inclui uma vasta gama de elementos de interface padrão, como botões, barras de navegação, e controles de entrada, que seguem os padrões de design e usabilidade da plataforma iOS. A utilização desses componentes nativos assegurou que os protótipos fossem altamente representativos do produto final, facilitando a transição do design para o desenvolvimento e garantindo uma experiência de usuário consistente e de alta qualidade.

Durante o processo de design, foram realizadas várias iterações de protótipos no Figma, cada uma submetida a testes de usabilidade e feedback de usuários. Esse ciclo de design iterativo permitiu a identificação e correção de problemas de navegação e de interface, resultando em um layout final funcional e esteticamente alinhado às expectativas dos usuários.

The image shows a mobile app interface titled "Dados da residência" (Residential Data). It is divided into two main sections: "DEMANDA" (Demand) and "COLETA" (Collection). Under "DEMANDA", there is a text input field labeled "Quantidade de moradores" (Number of residents) with a placeholder text "Quantas pessoas utilizam a mesma rede de água na sua residência." (How many people use the same water network in your residence?). Below this is another text input field labeled "Consumo médio mensal (m3)" (Average monthly consumption in m3) with a placeholder text "Área da superfície utilizada para coletar água da chuva (ex: telhados, lajes, calhas)." (Area of the surface used to collect rainwater (ex: roofs, slabs, gutters)). Under "COLETA", there is a text input field labeled "Área de Captação (m2)" (Collection Area in m2) with the same placeholder text as above. At the bottom of the form is a blue button labeled "Simular consumo" (Simulate consumption). The interface is clean and modern, with a light gray background and white input fields.

Figura 4.2: Design de alta fidelidade criado na ferramenta Figma

Fonte: Autoria própria

4.3 Implementação Computacional

A implementação computacional foi realizada utilizando o ambiente de desenvolvimento Xcode e a linguagem de programação Swift. Optamos pelo Swift devido à sua eficiência, segurança e pelo suporte nativo à plataforma iOS, o que nos permitiu aproveitar ao máximo os recursos do sistema operacional. Para a construção das interfaces de usuário, utilizamos o *framework* SwiftUI, que oferece uma maneira declarativa de construir interfaces, simplificando significativamente o processo de desenvolvimento e manutenção do código. Com SwiftUI, pudemos criar interfaces responsivas e dinâmicas de forma mais intuitiva, utilizando uma abordagem baseada em estados e reatividade. Isso nos permitiu concentrar mais esforços na

lógica de negócio e na experiência do usuário, enquanto o framework gerenciava as atualizações da interface de forma automática e eficiente.

O aplicativo foi desenvolvido seguindo a arquitetura MVVM (*Model-View-ViewModel*), que separa a lógica de apresentação da lógica de negócios, facilitando a manutenção e a escalabilidade do aplicativo. Através desta abordagem, conseguimos organizar o código de maneira mais clara e modular, onde o *Model* contém a lógica de dados e as classes de acesso a dados, representando o estado da aplicação; a *View* é responsável pela apresentação das informações na interface de usuário, observando as mudanças de estado nos dados; e o *ViewModel* atua como um intermediário entre o *Model* e a *View*, gerenciando a lógica de apresentação e a transformação dos dados para a interface de usuário.

Além do Xcode, foram utilizadas outras ferramentas essenciais no desenvolvimento do aplicativo. O *Charts* foi empregado para a criação de gráficos, facilitando a visualização dos dados de análise de viabilidade. Esse *framework* permitiu a integração de gráficos de maneira eficiente, proporcionando uma interface visualmente rica e informativa para os usuários.

O sistema de controle de versão utilizado foi o Git, com o repositório hospedado no GitHub. O projeto pode ser encontrado no seguinte repositório (<https://github.com/guilenzolari/TCC>) e no Anexo com a Figura A.1, Figura A.2 e Figura A.3.

Para o lançamento e distribuição do aplicativo, utilizamos o App Store Connect. Inicialmente, o aplicativo foi disponibilizado para testes através do *TestFlight*, permitindo que um grupo selecionado de usuários fornecesse *feedbacks* antes do lançamento oficial. Após a fase de testes, o aplicativo foi publicado na App Store, tornando-o acessível ao público geral.

Capítulo 5

Resultados e Discussão

A fim de expressar a lógica do funcionamento do aplicativo e demonstrar o processo para obtenção dos resultados, alguns valores foram assumidos para simulações de resultados. Tais exemplos de simulação utilizam os dados de entrada da Tabela 5.1.

Área de Captação (m ²)	100
Coeficiente de Aproveitamento	0,8
Consumo Médio de Água Potável por Pessoa (L/dia)	156
Número de Residentes	3

Tabela 5.1: Dados de Entrada

Utilizando os dados de entrada, o software inicialmente simula o volume de água pluvial captada no tempo t (L/mês), o volume disponível no reservatório após captação antes do consumo (L/mês), a demanda de água consumido (L/mês), o volume de água pluvial disponível no reservatório após o consumo (L/mês), o volume de água consumido (L/mês) e o potencial de atendimento de água pluvial (L/mês).

Para fins de exemplo, na Tabela 5.2 é apresentado um demonstrativo de cálculo expressos na seção 4, utilizando 30% de substituição em um reservatório de 4.000L e demanda de 4.270L/mês. Para esse caso, os resultados obtidos indicam que a implementação de sistemas de captação de água da chuva pode proporcionar uma significativa redução no consumo de água potável para fins secundários uma vez que há o atendimento da demanda total proposta para substituição em praticamente todos os meses. Depois de obtidos os resultados da 5.2, valores da análise técnico-econômica são calculados iterativamente pelo aplicativo. Utilizando substituições de 30%, 35% e 40% de água potável para água pluvial, obtem-se, respectivamente, a Tabela 5.3, a Tabela 5.4 e a Tabela 5.5.

Tabela 5.2: Resultados da simulação utilizando 30% de substituição em um reservatório de 4.000L

Mês	Média mensal de precipitação (mm)	Volume de água pluvial captada no tempo t (L/mês)	Volume disponível no reservatório após captação antes do consumo (L/mês)	Demanda de água consumida (L/mês)	Volume de água pluvial disponível no reservatório após o consumo (L/mês)	Potencial de Atendimento de Água Pluvial (%)
jan	178,1	14.248,00	4.000,00	4.000,00	0,00	93,67
fev	258,8	20.704,00	4.000,00	4.000,00	0,00	93,67
mar	81,3	6.504,00	4.000,00	4.000,00	0,00	93,67
abr	12,2	976,00	976,00	4.000,00	0,00	22,85
mai	23,4	1.872,00	1.872,00	4.000,00	0,00	43,84
jun	27,1	2.168,00	2.168,00	4.000,00	0,00	50,77
jul	0,0	0,00	0,00	4.000,00	0,00	0,00
ago	15,5	1.240,00	1.240,00	4.000,00	0,00	29,04
set	6,6	528,00	528,00	4.000,00	0,00	12,36
out	121,4	9.712,00	4.000,00	4.000,00	0,00	93,67
nov	83,8	6.704,00	4.000,00	4.000,00	0,00	93,67
dez	168,1	13.448,00	4.000,00	4.000,00	0,00	93,67

Tabela 5.3: Resultados da Simulação 1: 30% de Substituição

Parâmetro	600 L	1000 L	2000 L	3000 L	4000 L	5000 L	6000 L	7000 L	8000 L	9000 L	10000 L
Demanda Mensal de Água Pluvial (L)	4270,5	4270,5	4270,5	4270,5	4270,5	4270,5	4270,5	4270,5	4270,5	4270,5	4270,5
Potencial de Atendimento Médio (%)	13,4	21,7	39,6	54,6	67,7	72,5	74,5	76,4	78,4	80,3	82,3
Meses Atendidos Parcialmente	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	5	4,5	4	3,5	3,5	2,5
Meses Atendidos Completamente	0	0	0	0	0	6,5	7	7,5	8	8	9
Meses Não Atendidos	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Custo do Reservatório (R\$)	1420,63	1844,50	3689,00	5342,83	5782,45	5782,45	9280,78	9280,78	11564,90	11564,90	11564,90
Outros Custos (R\$)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
OPEX Anual (R\$)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Economia de Água Anual (L)	6528	10504	18616	24784	30784	33140	34140	35140	36140	37140	38141
Economia de Água Anual (R\$)	669	1076	1907	2539	3154	3395	3498	3600	3702	3804	3907
Payback (anos)	4,9	2,9	2,5	2,6	2,2	2,0	3,0	2,9	3,5	3,4	3,3

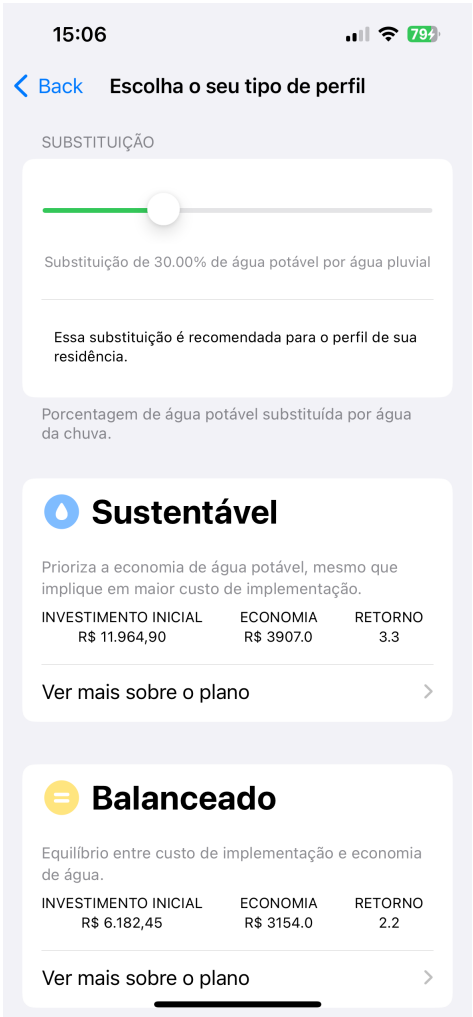
Tabela 5.4: Resultados da Simulação 2: 35% de Substituição

Parâmetro	600 L	1000 L	2000 L	3000 L	4000 L	5000 L	6000 L	7000 L	8000 L	9000 L	10000 L
Demanda Mensal de Água Pluvial (L)	4982,25	4982,25	4982,25	4982,25	4982,25	4982,25	4982,25	4982,25	4982,25	4982,25	4982,25
Potencial de Atendimento Médio (%)	11,5	18,6	33,9	46,8	58,0	68,7	70,4	72,1	73,7	75,4	77,1
Meses Atendidos Parcialmente	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	5	5	4,5	4,5	3,5	3,5
Meses Atendidos Completamente	0	0	0	0	0	6,5	6,5	7	7	8	8
Meses Não Atendidos	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Custo do Reservatório (R\$)	1420,63	1844,50	3689,00	5342,83	5782,45	5782,45	9280,78	9280,78	11564,90	11564,90	11564,90
Outros Custos (R\$)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
OPEX Anual (R\$)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Economia de Água Anual (L)	6528	10504	18616	24784	30784	36694	37694	38694	39694	40694	41694
Economia de Água Anual (R\$)	669	1076	1907	2539	3154	3759	3862	3964	4067	4169	4272
Payback (anos)	4,9	2,9	2,5	2,6	2,2	1,8	2,7	2,6	3,2	3,1	3,0

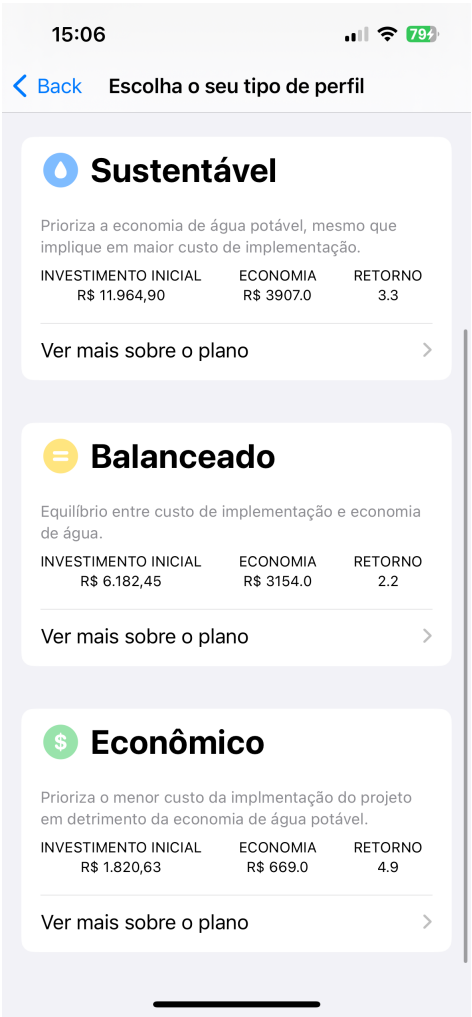
Tabela 5.5: Resultados da Simulação 3: 40% de Substituição

Parâmetro	600 L	1000 L	2000 L	3000 L	4000 L	5000 L	6000 L	7000 L	8000 L	9000 L	10000 L
Demanda Mensal de Água Pluvial (L)	5694	5694	5694	5694	5694	5694	5694	5694	5694	5694	5694
Potencial de Atendimento Médio (%)	10,0	16,3	29,7	41,0	50,8	60,3	67,3	68,8	70,3	71,7	73,2
Meses Atendidos Parcialmente	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	5	5	5	4,5	4,5
Meses Atendidos Completamente	0	0	0	0	0	0	6,5	6,5	6,5	7	7
Meses Não Atendidos	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Custo do Reservatório (R\$)	1420,63	1844,50	3689,00	5342,83	5782,45	5782,45	9280,78	9280,78	11564,90	11564,90	11564,90
Outros Custos (R\$)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
OPEX Anual (R\$)	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Economia de Água Anual (L)	6528	10504	18616	24784	30784	36784	41254	42254	43254	44254	45254
Economia de Água Anual (R\$)	669	1076	1907	2539	3154	3769	4226	4329	4431	4534	4636
Payback (anos)	4,9	2,9	2,5	2,6	2,2	1,8	2,5	2,4	2,9	2,8	2,8

No aplicativo, tais resultados são expressos conforme a Figura 5.1 e Figura 5.2.





(a)




(b)

Figura 5.1: Telas do aplicativo de escolha do tipo de perfil e percentual de substituição. Figura (a) e Figura (b)

Fonte: Autoria própria



15:06   79%

[< Escolha o seu tipo de perfil](#)


Resultados detalhados 

Percentual de Substituição de Água Potável	30.0%
Demanda Mensal de Água Pluvial (L)	4270.5
Capacidade do Reservatório de Água Pluvial (L)	4000.0
Potencial Médio de Atendimento	67.7%
Número de Meses Parcialmente Atendidos	11.5
Número de Meses Completamente Atendidos	0.0
Número de Meses Não Atendidos	0.5
Investimento Inicial (R\$)	6182.4
Custo do Reservatório (R\$)	5782.4
Outros Custos (R\$)	400.0
Custo da Bomba (R\$)	150.0
Custo das Tubulações e Conexões (R\$)	100.0
Custo do Clorador (R\$)	150.0
Custos Operacionais Anuais (R\$)	300.0
Economia Anual de Água (L)	34684.0

(c)

15:06   79%

[< Escolha o seu tipo de perfil](#)

Resultados detalhados 

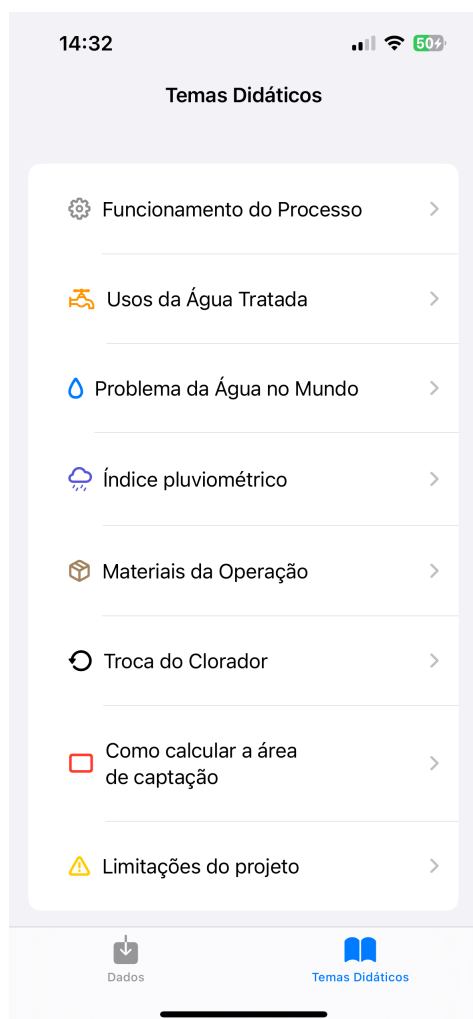
Capacidade do Reservatório de Água Pluvial (L)	4000.0
Potencial Médio de Atendimento	67.7%
Número de Meses Parcialmente Atendidos	11.5
Número de Meses Completamente Atendidos	0.0
Número de Meses Não Atendidos	0.5
Investimento Inicial (R\$)	6182.4
Custo do Reservatório (R\$)	5782.4
Outros Custos (R\$)	400.0
Custo da Bomba (R\$)	150.0
Custo das Tubulações e Conexões (R\$)	100.0
Custo do Clorador (R\$)	150.0
Custos Operacionais Anuais (R\$)	300.0
Economia Anual de Água (L)	34684.0
Economia Anual na Conta de Água (R\$)	3154.0
Tempo de Retorno do Investimento (anos)	2.2

(d)

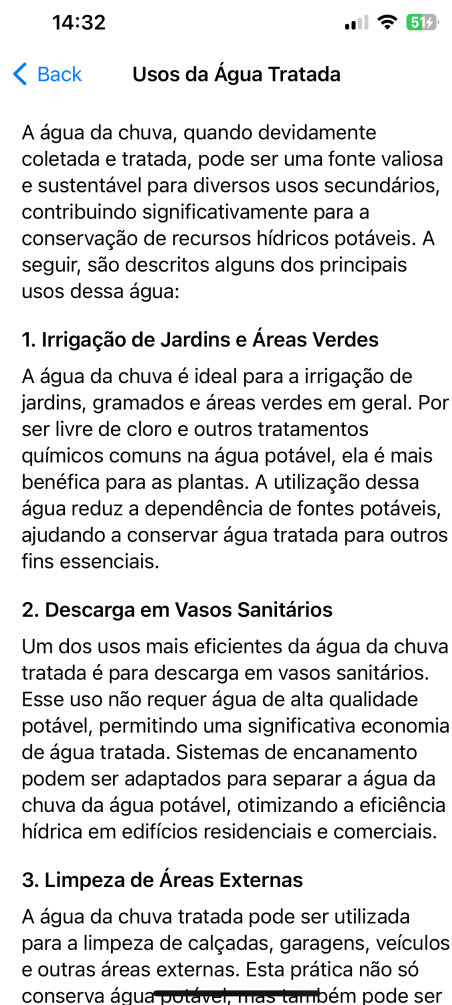
Figura 5.2: Telas do aplicativo de exibição dos resultados detalhados. Figura (c) e Figura (d)

Fonte: Autoria própria

Por fim, seguindo o objetivo de democratização do conhecimento, o aplicativo também apresenta páginas informativas a fim de conscientização populacional, expresso na Figura 5.3



(a)



(b)

Figura 5.3: Didática do aplicativo. a) página inicial b) tela "Usos da água tratada" com conhecimentos gerais sobre o assunto

Fonte: Autoria própria

Capítulo 6

Conclusão

O desenvolvimento do aplicativo mobile para avaliar a viabilidade técnica e econômica da captação e reutilização de água pluvial em residências atingiu os objetivos propostos, fornecendo uma ferramenta robusta e acessível para auxiliar a tomada de decisões dos usuários. A crescente demanda por recursos hídricos, agravada pelas mudanças climáticas e pelo uso insustentável, tornou a necessidade de soluções inovadoras para a conservação de água imperativa. Neste contexto, o aplicativo oferece uma contribuição significativa ao permitir que os usuários façam cálculos precisos e personalizados sobre a implementação de sistemas de captação de água da chuva.

O principal objetivo do aplicativo foi democratizar a análise técnico-financeira de sistemas de captação de água pluvial, tornando-a acessível a um público mais amplo. Através de uma interface intuitiva e interativa, o aplicativo permite que os usuários insiram dados específicos, como volume de precipitação, área de captação, custos de instalação e manutenção. Com essas informações, o aplicativo realiza simulações detalhadas que fornecem estimativas de economia de água e retorno sobre o investimento.

As simulações realizadas demonstram que a implementação de sistemas de captação de água da chuva pode proporcionar uma significativa redução no consumo de água potável para fins secundários, como irrigação de jardins, lavagem de veículos e descarga de vasos sanitários. Em termos econômicos, os resultados indicam que a economia gerada pode justificar o investimento inicial em um período relativamente curto, dependendo das condições específicas de cada usuário. Essas conclusões são suportadas pelos dados apresentados, que mostram um potencial de atendimento médio variando conforme o tamanho do reservatório e a precipitação mensal.

A metodologia adotada no desenvolvimento do aplicativo incluiu a definição da demanda de água potável e de água pluvial, utilizando dados de consumo médio e precipitação anual da cidade de Campinas/SP. O software calcula o volume de água captada com base na área de captação e na eficiência do sistema, realizando um balanço de massa para determinar o volume de água disponível ao longo do tempo. A análise financeira, complementada com a avaliação do payback, oferece aos usuários uma visão clara do tempo necessário para que os investimentos sejam recuperados através da economia gerada pelo uso da água pluvial.

A implementação computacional do software utilizando a linguagem de programação Swift e o framework SwiftUI permitiu a criação de um aplicativo eficiente e seguro para a plataforma iOS. O design das interfaces seguiu as diretrizes da Apple, garantindo uma experiência de usuário intuitiva e consistente. O uso de componentes nativos do iOS e a adoção da arquitetura MVVM contribuíram para a escalabilidade e manutenção do aplicativo, assegurando sua funcionalidade e facilidade de uso.

Em conclusão, o aplicativo desenvolvido não apenas facilita o processo de análise para os usuários, mas também promove uma maior adoção de práticas sustentáveis em residências. A capacidade de personalizar os cálculos de acordo com as necessidades individuais torna o aplicativo uma ferramenta valiosa para quem deseja implementar sistemas de reaproveitamento de água pluvial de maneira eficiente e econômica. Assim, o aplicativo contribui para a conservação dos recursos hídricos e para a sustentabilidade ambiental, respondendo a uma demanda crescente por soluções inovadoras e acessíveis no gerenciamento de água.

Referências bibliográficas

AL., E. G. et. Assessment of the utilization of rainwater in dwellings in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 204–211, 2006.

APPLE. **Human Interface Guidelines - Design - Apple Developer**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <<https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/>>.

ARBUÉS, F.; GARCÍA-VALIÑAS, M. Á.; MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA, R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. **Journal of Socio-Economics**, v. 32, n. 1, p. 81–102, 2003.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23–40, 2008.

BRENNAN. **Título do Livro de Brennan**. Local: Editora, 2020.

CEPAGRI. **Climatologia Campinas**. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: <<https://www.cpa.unicamp.br/graficos>>.

FIESP. **Manual de Conservação e Reúso de Água em Edificações**. [S.l.: s.n.], 2005.

GHISI, E.; FERREIRA, D. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 2, p. 203–216, 2012.

GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, Rima, 2003.

MÍDIA INTERATIVA LTDA, D. E. de. **Sai Desse Banho (versão 1.2)**. [S.l.: s.n.], 2011. Disponível em: <https://iphone.apkpure.com/app/sai-desse-banho/br.com.d3estudio.saidessebanho>.

MIERZWA, J. C. **CAPCHU (versão 1.0)**. [S.l.: s.n.], 2016.

MURAKAMI, L. M. A utilização de água de maneira sustentável em residências unifamiliares. **TCC (Curso de Especialização Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Presbiteriana Mackenzie**, São Paulo, 79 f, 2012.

SANASA, C. **Preço de água 2023 - Categoria Residencial Padrão**. [S.l.: s.n.], 2024. Disponível em: <<https://www.sanasa.com.br/inicio/default.aspx>>.

SANT'ANA D BOEGER D., M. L. **Aproveitamento de Águas Pluviais e o Reúso de Águas Cinzas em Edifícios Residenciais de Brasília-Parte 2: Viabilidade Técnica e Econômica**. [S.l.: s.n.], 2013. v. 10, p. 85–94.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, v. 2, n. 4, p. 7–18, 2002.

TOMAZ, P. **Previsão de consumo de água**. São Paulo: Navegar, 2000.

TURTON, R. et al. **Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2014.

UNESCO WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018: Soluções Baseadas na Natureza para a Gestão da Água, Resumo Executivo**. Edição: Richard Connor, David Coates, Stefan Uhlenbrook e Engin Koncagül. UNESCO: UNESCO, 2018. 11 p., illus. ISBN 0000261594.

Apêndice A

Primeiro Apêndice



```
import Foundation

final class InserirDadosViewModel: ObservableObject {

    static let shared = InserirDadosViewModel()

    @Published var area: Double = 0.0 // m2
    @Published var tarifaDaAgua: Double = 0.0 // R$/m3
    @Published var consumoMediaDaResidencia: Double = 0.0 // m3/mes
    @Published var quantidadeMoradoresDaResidencia = 0.0

    var areaString: String {
        get { area == 0 ? "" : String(area) }
        set { area = Double(newValue) ?? 0 }
    }

    var tarifaDaAguaString: String {
        get { tarifaDaAgua == 0 ? "" : String(tarifaDaAgua) }
        set { tarifaDaAgua = Double(newValue) ?? 0 }
    }

    var consumoMediaDaResidenciaString: String {
        get { consumoMediaDaResidencia == 0 ? "" : String(consumoMediaDaResidencia) }
        set { consumoMediaDaResidencia = Double(newValue) ?? 0 }
    }

    var quantidadeMoradoresDaResidenciaString: String {
        get { quantidadeMoradoresDaResidencia == 0 ? "" : String(quantidadeMoradoresDaResidencia) }
        set { quantidadeMoradoresDaResidencia = Double(newValue) ?? 0 }
    }

    private init(){}

    func isTextFieldFilled() -> Bool{
        if(area == 0 || tarifaDaAgua == 0 || (consumoMediaDaResidencia == 0 &&
        quantidadeMoradoresDaResidencia == 0)){
            return false
        } else {
            return true
        }
    }
}
```

Figura A.1: Trecho do código de uma ViewModel

Fonte: Autoria própria

```
import SwiftUI

struct InserirDadosView: View {

    @ObservedObject var inputs = InserirDadosViewModel.shared
    @State var isTextFieldFilled = false
    @Binding var selectedTab: Int

    var body: some View {
        NavigationView {
            VStack {
                Form {
                    Section(header: Text("Coleta"), footer: Text("Área da superfície utilizada para coletar água da chuva (ex: telhados, lajes, calhas).")) {
                        TextField("Área de Captação (m²)", text: $inputs.areaString)
                            .keyboardType(.numberPad)
                    }

                    Section(footer: Text("Valor encontrado na conta de água. Pode variar com o consumo e localização.")). {
                        TextField("Preço da água (R$/m³)", text: $inputs.tarifaDaAguaString)
                            .keyboardType(.numberPad)
                    }

                    Section(header: Text("Demanda"), footer: Text("Preencha apenas um dos campos acima. Preencher 'Consumo mensal de água' dá resultados mais precisos.")). {
                        TextField("Consumo médio mensal de água (m³)", text:
$inputs.consumoMediaDaResidenciaString)
                            .keyboardType(.numberPad)
                            .disabled(inputs.quantidadeMoradoresDaResidencia != 0)

                        TextField("Quantidade de moradores", text:
$inputs.quantidadeMoradoresDaResidenciaString)
                            .keyboardType(.numberPad)
                            .disabled(inputs.consumoMediaDaResidencia != 0)
                    }

                    Section {
                        Button(action: {
                            selectedTab = 1
                        }, label: {
                            HStack {
                                Spacer()
                                Text("Concluir")
                                Spacer()
                            }
                        })
                    }.disabled(!inputs.isTextFieldFilled())
                }
            }
        }
        .navigationTitle(Text("Insira os dados da sua residência"))
        .navigationBarTitleDisplayMode(.inline)
    }
}
```

Figura A.2: Trecho do código de uma View

Fonte: Autoria própria

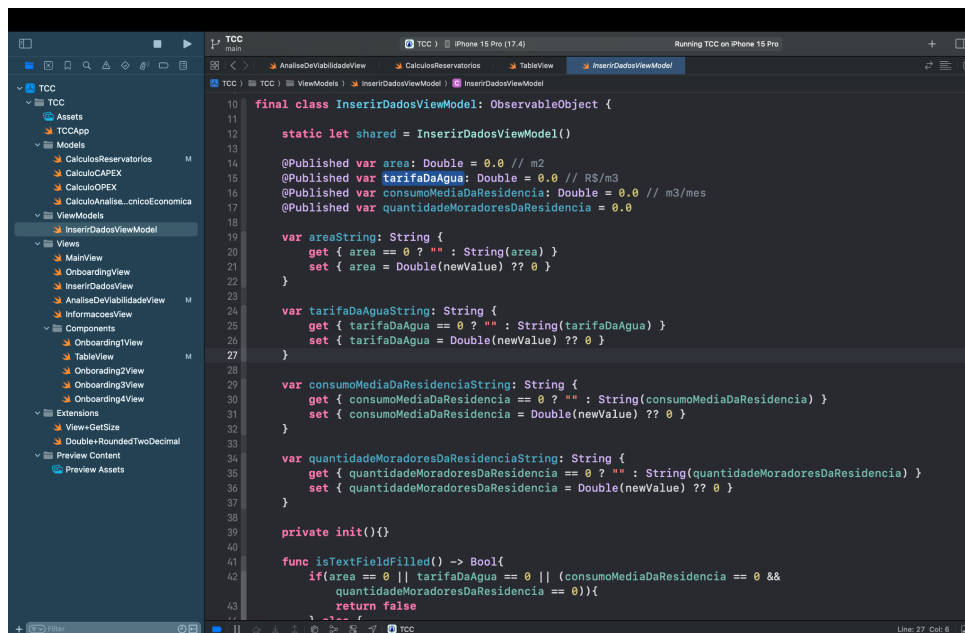


Figura A.3: Print do ambiente de desenvolvimento do app: Xcode

Fonte: Autoria própria