



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Bárbara Leite Amorim

APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL: UM ESTUDO DE CASO EM UMA REPÚBLICA UNIVERSITÁRIA NA CIDADE DE OURO PRETO

Ouro Preto

2024

Aproveitamento de água pluvial: um estudo de caso em uma república universitária
na cidade de Ouro Preto

Bárbara Leite Amorim

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 17/10/2024

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dra. Ana Letícia Pilz de Castro

Ouro Preto

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A524a Amorim, Barbara Leite.

Aproveitamento de água pluvial [manuscrito]: um estudo de caso em uma república universitária na cidade de Ouro Preto. / Barbara Leite Amorim. - 2024.

62 f.: il.: color., tab..

Orientadora: Profa. Dra. Ana Leticia Pilz de Castro.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Águas pluviais - Captação. 2. Águas pluviais - Rippl, Método. 3. Reservatórios - Azevedo Neto, Método. 4. Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 15527 - Método Prático Alemão (MPA). 5. Água - Reuso. I. Castro, Ana Leticia Pilz de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



FOLHA DE APROVAÇÃO

Bárbara Leite Amorim

Aproveitamento de água pluvial: um estudo de caso em uma república universitária na cidade de Ouro Preto

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Civil

Aprovada em 17 de outubro de 2024.

Membros da banca

Dra. - Ana Letícia Pilz de Castro - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. - Múcio André dos Santos Alves Mendes - Universidade Federal de Ouro Preto
Eng. - Ana Paula de Azevedo Faria - Universidade Federal de São João del-Rei

Ana Letícia Pilz de Castro, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 11/04/2025



Documento assinado eletronicamente por **Ana Letícia Pilz de Castro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 11/04/2025, às 13:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0894854** e o código CRC **F938622F**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me sustentado e abençoado os meus passos até aqui. Aos meus pais, Tarcísio e Silvânia, por serem meu exemplo de amor, determinação, caráter e por sempre colocarem a minha felicidade e os meus sonhos em primeiro lugar. Ao meu irmão Matheus, pelo companheirismo, amizade e apoio em todos os momentos. Às famílias Leite e Amorim pelo carinho e suporte.

A UFOP e à Escola de Minas, pelo ensino gratuito e de qualidade. À Ana Letícia, minha orientadora, pela paciência, dedicação, compreensão e suporte na execução deste trabalho até a sua conclusão.

À Civil Jr., pelas experiências e conhecimentos compartilhados. Às empresas Andrade Gutierrez, Strata e Vale Verde pela oportunidade e por todo crescimento profissional adquirido até aqui.

Por fim, um agradecimento especial à minha República Eternamente, lugar que me escolheu e eu escolhi para amar. "E então todo meu amor, Eternamente por aqui ficou."

“Um livro, uma caneta, uma criança e um professor podem mudar o mundo.”

(Malala Yousafzai)

RESUMO

É fato que a água desempenha um papel fundamental em contextos biológicos, sociais e ambientais. Dessa forma, dado o cenário mundial de escassez em que os recursos hídricos se encontram, alternativas econômicas e sustentáveis de uso tornam-se cada vez mais válidas. A captação de águas pluviais é uma técnica que tem origem milenar, sendo utilizada em diversos países como forma de substituir a água potável por água da chuva em atividades domésticas como descargas em sanitários e lavagem de roupas. O objetivo deste estudo de caso é avaliar o potencial de economia financeira e de consumo de água potável com a instalação de um sistema de captação de água da chuva em uma residência em Ouro Preto. Para o reservatório de armazenamento, foram utilizados 3 métodos de dimensionamento sugeridos pela BRN 15.527: Rippl (usado como parâmetro de volume máximo), Azevedo Neto e Prático Alemão (usado como parâmetro de volume mínimo), resultando em capacidades de 131m³, 39m³ e 16m³, respectivamente. O primeiro, foi descartado por indisponibilidade de espaço para instalação; e o terceiro, por não atender adequadamente à demanda da residência. O segundo, de 39 m³, demandaria reservatórios de dimensões inadequadas para garantir a funcionalidade do sistema. Dessa forma, foram adotadas 3 unidades de 10 m³, totalizando 30 m³ de capacidade de armazenamento, o que atende aos parâmetros de volume adotados anteriormente. O sistema apresentou desempenho satisfatório para abastecer a demanda do local por 5 meses e um tempo de retorno do investimento de 4,5 anos. A economia anual gerada foi de 40% do consumo real da residência e 54% do valor gasto com as faturas de água e esgoto. Foi observado que a mesma redução no consumo de água pode gerar reduções diferentes nas faturas de outras cidades da região, como Congonhas e Itabirito, devido às variações das tarifas das concessionárias.

Palavras-chaves: Captação de água pluvial; método Rippl; método Azevedo Neto; método Prático Alemão; reuso da água.

ABSTRACT

It is a fact that water plays a fundamental role in biological, social and environmental contexts. Thus, given the global scenario of scarcity in which water resources find themselves, economic and sustainable alternatives for use become increasingly valid. Rainwater harvesting is a technique that has millennial origins, being used in several countries as a way to replace potable water with rainwater in domestic activities such as flushing toilets and washing clothes. The objective of this case study is to evaluate the potential for financial savings and the reduction of potable water consumption through the installation of a rainwater harvesting system in a residence in Ouro Preto. For the storage reservoir, three sizing methods suggested by BRN 15.527 were used: Rippl (used as a parameter of maximum volume), Azevedo Neto and Practical German (used as a parameter of minimum volume), resulting in capacities of 131m³, 39m³ and 16m³, respectively. The first was discarded due to unavailability of space for installation; and the third, for not adequately meeting the demand of the residence. The second, of 39 m³, would require reservoirs of inadequate dimensions to ensure the functionality of the system. Therefore, 3 units of 10 m³ were adopted, totaling 30 m³ of storage capacity, which meets the volume parameters previously adopted. The system presented satisfactory performance in supplying the demand of the residence for 5 months and a payback period of 4.5 years. The annual savings generated were 40% of the actual consumption of the residence and 54% of the amount spent on water and sewage bills. It was observed that the same reduction in water consumption can generate different reductions in the bills of other cities in the region, such as Congonhas and Itabirito, due to variations in the tariffs of the concessionaires.

Keywords: Rainwater harvesting; Rippl method; Azevedo Neto method; Practical German method; water reuse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pedra Moabita	4
Figura 2 - Abanpar, cisterna tradicional no Irã	5
Figura 3 - Uma das mais de 7186 cisternas construídas através do Programa Cisterna nas Escolas na região do semiárido brasileiro	7
Figura 4 - Irrigação dos gramados do estádio Mineirão com a água coletada da chuva	8
Figura 5 - Etapas do sistema de reaproveitamento de água da chuva	13
Figura 6 - Filtro autolimpante para água de chuva	14
Figura 7 - Dispositivo de descarte	15
Figura 8 - Interior de um filtro volumétrico	16
Figura 9 - Modelo de bomba centrífuga para uso doméstico	17
Figura 10 - Precipitação média mensal em Ouro Preto	25
Figura 11 - Localização da República Eternamente	26
Figura 12 - Planta baixa do segundo pavimento da residência	27
Figura 13 - Planta baixa do terceiro pavimento da residência	27
Figura 14 - Fachada da República Eternamente	28
Figura 15 - Equação para cálculo de área de contribuição de superfícies inclinadas	29
Figura 16 - Planta baixa dos telhados, executada com auxílio do software AutoCAD	30
Figura 17 - Dimensões dos tanques Fortlev	45
Figura 18 - Planta de alocação dos reservatórios no segundo pátio da área externa, com auxílio do software AutoCAD	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros mínimos de qualidade da água	20
Tabela 2 - Estrutura tarifária de água e esgoto de acordo com as faixas de consumo para a categoria residencial	35
Tabela 3 - Valores médios de precipitação de Ouro Preto entre 1991 e 2021 ...	38
Tabela 4 - Resultados obtidos com a aplicação do Método de Rippl	41
Tabela 5 - Consumo mensal num período de 6 meses	48
Tabela 6 - Orçamento de materiais para instalação do sistema de captação	50
Tabela 7 - Uso de água potável para atividades de fins não potáveis (em m ³) ..	52

LISTA DE SIGLAS

ASA – Articulação do Semiárido Brasileiro

EDC – Esgotamento Dinâmico com Coleta

EDT – Esgotamento Dinâmico com Coleta e Tratamento

NBR – Norma Brasileira

ONU – Organização das Nações Unidas

PMOP – Prefeitura Municipal de Ouro Preto

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

P1MC – Programa Um Milhão de Cisternas

SCAP – Sistema de Captação de Águas Pluviais

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo	2
1.1.1	Objetivos específicos	2
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	A importância da água e o cenário de escassez deste recurso no planeta ..	3
2.2	Aproveitamento de água pluvial no mundo	4
2.3	Aproveitamento de água pluvial no Brasil	6
2.4	Aproveitamento de água pluvial em Ouro Preto.....	8
2.5	Legislações	9
2.5.1	Legislação Federal.....	9
2.5.2	Legislação Estadual.....	10
2.5.3	Legislação Municipal.....	11
2.6	Aspectos técnicos	11
2.6.1	Componentes do sistema	11
2.6.2	Normas técnicas e recomendações de projeto	17
2.7	Dimensionamento do reservatório	21
2.7.1	Método de Rippl.....	21
2.7.2	Método da Simulação	22
2.7.3	Método Azevedo Neto	23
2.7.4	Método Prático Alemão.....	23
2.7.5	Método Prático Inglês	24
2.7.6	Método Prático Australiano.....	24
2.8	Regime pluviométrico de Ouro Preto	24

3. METODOLOGIA	26
3.1 Área de estudo.....	26
3.2 Área de captação	28
3.3 Demanda e consumo de água	31
3.3.1 Volume de captação	31
3.3.2 Volume de consumo por atividade.....	32
3.4 Dimensionamento do reservatório de armazenamento.....	32
3.5 Análise de economia e consumo	34
4. RESULTADOS	37
4.1 Cálculo da área de captação	37
4.2 Cálculo estimado do volume de captação mensal	38
4.3 Cálculo do volume de consumo por atividade.....	39
4.4 Dimensionamento do reservatório	40
4.4.1 Método de Rippl.....	40
4.4.2 Método Azevedo Neto	42
4.4.3 Método Prático Alemão.....	43
4.5 Análise da área disponível para implantação do sistema	44
4.6 Análise do consumo real da república	47
4.7 Análise do gasto real da república	48
4.8 Análise de viabilidade de implantação	49
5. CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS.....	57

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o tema “crise hídrica” tem se tornado cada vez mais frequente em nossa sociedade. Não raro, os veículos midiáticos abordam situações de desperdício e falta desse recurso a nível mundial. Além disso, o próprio processo de urbanização, aliado ao crescimento populacional são importantes fatores que contribuem para um aumento significativo na demanda por abastecimento de água em diferentes regiões do globo.

A água é um recurso importante para todos, uma vez que promove a manutenção da vida no nosso planeta, além de proporcionar o desenvolvimento de diversos setores da economia. Estima-se que de toda água disponível na Terra, apenas 2,5% é doce. Dessa parcela, grande parte encontra-se na forma de glaciares e águas subterrâneas (30%), sendo de difícil acesso para o consumo humano. (ANA, 2024). Dessa forma, menos de 1% de todo recurso hídrico disponível é acessível para consumo.

Também é importante salientar que, apesar do quadro de escassez hídrica a nível global, os índices de desperdício desse recurso no Brasil ainda são alarmantes. Segundo Rebouças (2003), as perdas totais de água tratada e injetada nas redes de distribuição em países desenvolvidos é de 5% a 15%. Já em cidades brasileiras o índice médio de perdas é de 37,8% e na região Sudeste, 33,9% (SNIS, 2023). Diante desse cenário e de posse dos dados apresentados anteriormente, torna-se cada vez mais urgente desenvolver alternativas de uso consciente, ecológico e racional dos nossos recursos hídricos.

Neste sentido, o uso da água pluvial para fins não potáveis aparece como uma nova solução para suprir as demandas por abastecimento. Dessa forma, a água da chuva que antes seria descartada e inutilizada pode ser redirecionada para execução de outras atividades de forma eficiente. Essa alternativa promove uma melhor gestão dos recursos hídricos, menos desperdício, além de amenizar a ocorrência de enchentes e alagamentos em diversas regiões. Analisando a implantação do referido

sistema pelo aspecto econômico, o aproveitamento e reuso da água pode diminuir significativamente o volume de água tratada requerida das concessionárias e, conseqüentemente, promover uma redução nos gastos mensais.

O sistema de aproveitamento de água da chuva é uma solução versátil e eficaz, já que este pode ser aplicado em setores agrícolas, industriais, comerciais e em residências. Suas aplicações incluem produção de hortas, quintais produtivos, produção de pastagem para animais e irrigação de jardins (GONÇALVES, 2022). Nas edificações residenciais, a água armazenada pode ser reaproveitada em diversas atividades, como lavagem de pátios e áreas externas, lavagem de veículos, descargas em bacias sanitárias e em lavadoras de roupas.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de captação de águas pluviais em uma República Universitária na cidade de Ouro Preto - MG

1.1.1 Objetivos específicos

- Determinar o potencial de aproveitamento de água pluvial em Ouro Preto – MG
- Avaliar a redução do consumo de água potável
- Avaliar a economia financeira no valor da conta de água com a implantação do sistema de captação de água da chuva

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância da água e o cenário de escassez deste recurso no planeta

É sabido que a água desempenha papel fundamental para a manutenção da vida no planeta, sendo indispensável para a realização das funções básicas das células, para a produção de energia e para o transporte de substâncias nos organismos. Além disso, este recurso é essencial para manter o equilíbrio dos ecossistemas e para regular as alterações climáticas da Terra. Em relação ao consumo, a água também é amplamente utilizada na higiene pessoal, na limpeza e cozimento de alimentos, nos setores industriais e agrícolas.

Segundo o Conselho Nacional das Águas (CNA, 2024), a maior parte dos recursos hídricos disponíveis no planeta encontra-se na forma de água salgada, sendo apenas 2,5% água doce. Destes, 1,8% estão retidos nas regiões polares do globo em forma de gelo e glaciares, sendo impróprios para consumo humano. Dessa forma, o consumo de água por parte da humanidade e dos ecossistemas é escasso e está limitado a apenas 0,7% de todo o volume disponível no globo.

Além do cenário de disponibilidade limitada dos recursos hídricos, o consumo humano de água tem aumentado significativamente ao longo dos anos. Segundo relatório da Organização das Nações Unidas (ONU, 2023), a demanda por água doce aumentou 6 vezes no último século e tende a avançar a uma taxa de 1% ao ano, devido ao desenvolvimento da economia, ao crescimento populacional e às alterações dos padrões de consumo. Esse quadro contribui para o que os veículos midiáticos têm chamado de crise hídrica e pode se tornar uma realidade preocupante nos próximos anos. Estima-se que 1,8 bilhão de pessoas enfrentarão a escassez absoluta de água até 2025 (ONU, 2024).

Diante dessa conjuntura, alternativas sustentáveis de aproveitamento da água surgem como uma solução para suprir as demandas por abastecimento, otimizar o consumo e reduzir desperdícios.

2.2 Aproveitamento de água pluvial no mundo

A técnica de aproveitamento de água de chuva tem origem milenar em diversas partes do globo, sendo desenvolvida por diferentes civilizações antigas com o objetivo de fazer uma melhor gestão dos recursos hídricos da época. Essa tecnologia se tornou mais difundida principalmente em regiões mais áridas do planeta, onde as chuvas são limitadas e incertas e o uso consciente da água se tornou fundamental.

Um dos registros mais antigos encontrados no mundo é o da Pedra Moabita (Figura 1), no Oriente Médio. Nesta pedra, datada de 850 a.C., o rei Mesha dos Moabitas cita a execução de um reservatório em cada casa para armazenar água da chuva (TOMAZ, 2003).

Figura 1 - Pedra Moabita



Fonte: Louvre, 2024

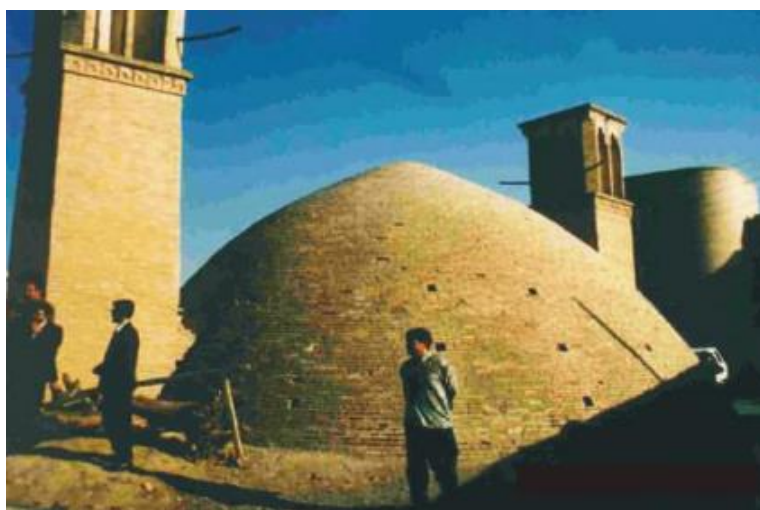
Segundo Sacadura (2011), os povos Maias foram responsáveis pela construção de um complexo sistema hidráulico na região do sítio arqueológico Edzná, no norte

do estado mexicano de Campeche. O conjunto possui cisternas, canais e depósitos subterrâneos que serviam para conduzir e armazenar a água da chuva.

No século X, na cidade de Oxkutzcab, em Yucatán, a agricultura era baseada no reuso de água da chuva. Os chamados *chultuns* eram cisternas com aproximadamente 5 metros de diâmetro que eram escavadas no subsolo calcário e revestidas com reboco, acopladas a uma superfície de captação e com capacidade de 20.000 a 45.000 litros (ibidem).

No Irã, são encontrados sistemas comunitários de captação de água da chuva. Os chamados *abanbars* (Figura 2) são tanques feitos de pedras ou de tijolos e argamassa de cal com uma torre que resfria a água constantemente, garantindo que este recurso se mantenha puro e fresco à população durante todo o ano (GNADLINGER, 2015).

Figura 2 - Abanpar, cisterna tradicional no Irã



Fonte: Gnadlinger, 2015

O Japão é um dos países que mais investem em alternativas de reuso da água. Devido à grande atividade sísmica na região e à seca anormal que o país enfrentou em 1994, vários municípios reconheceram a importância da garantia de abastecimento desse recurso como reservas em casos de desastres. Atualmente, mais de 60 municípios japoneses subsidiam a instalação de reservatórios para

armazenamento de água pluvial e mais de 45 municípios investem na conversão de antigas fossas por tanques de armazenamento (FURUMAI et al., 2008).

A Austrália, país desenvolvido e de clima predominantemente semiárido, também tem utilizado o reuso da água pluvial em larga escala. Estima-se que atualmente 20% da população do país utilize água das cisternas para beber e que nas regiões rurais o armazenamento também é feito por meio de cisternas (GNADLINGER, 2015).

2.3 Aproveitamento de água pluvial no Brasil

No território nacional, o uso da água da chuva para fins não potáveis já é utilizado como alternativa para suprir as demandas por água, principalmente em regiões rurais do semiárido brasileiro. Sobre o “Programa Um Milhão de Cisternas” (P1MC), Gomes et al. (2014) cita que é um programa de abastecimento idealizado em 2001 pela rede de organizações sociais Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA) e incluído em 2003 no programa Fome Zero do governo.

De acordo com a ASA (2024), o P1MC tem o objetivo de descentralizar e democratizar a água para a população dessas regiões através do armazenamento da água da chuva em cisternas de concreto pré-moldado instaladas em cada casa. A tecnologia inclui cisternas de 16.000 litros, o suficiente para abastecer um núcleo familiar de 6 pessoas no período de estiagem. Além das cisternas, também são previstas bombas para retirada da água, calhas para auxílio da coleta, filtros e telas de proteção. As ações do P1MC também incluem cursos ministrados à população sobre Gestão de Recursos Hídricos e capacitações aos pedreiros locais para a construção das cisternas e instalação do sistema de captação (ibidem).

Outros programas fomentados e implementados pela ASA com objetivos semelhantes aos do P1MC e que também visam o aproveitamento de água pluvial são o “Cisternas nas Escolas” e o “Uma Terra e Duas Águas” (P1+2). O primeiro, visa garantir o direito básico da água de qualidade às comunidades escolares com cisternas de até 52.000 litros de capacidade (ASA, 2024); e o segundo, visa garantir

a segurança hídrica e nutricional das populações com a ampliação do estoque de água para a produção de alimentos, criação de animais ou cultivo de sementes (ASA, 2024). Na Figura 3 é apresentada uma das mais de 7.000 cisternas construídas pelo Cisternas nas Escolas na região do semiárido do país.

Figura 3 - Uma das mais de 7186 cisternas construídas através do Programa Cisterna nas Escolas na região do semiárido brasileiro



Fonte: ASA, 2024

Em Belo Horizonte - MG, o estádio de futebol Governador Magalhães Pinto (ou Mineirão) também é referência no quesito reaproveitamento de água da chuva. No local, foi instalado um sistema de reuso da água com capacidade para armazenar 5 milhões de litros, volume que é capaz de abastecer 70% da demanda do estádio por até 3 meses de estiagem (MINEIRÃO, 2024). A água que é coletada pela cobertura do estádio fica armazenada em reservatórios localizados abaixo das cadeiras e atrás dos gols, sendo posteriormente tratada e utilizada para irrigação do gramado, bacias sanitárias e mictórios (ibidem). Na **Figura 4** é possível observar a irrigação dos gramados do Mineirão através desse sistema. Devido a essa e outras iniciativas sustentáveis adotadas pelo Mineirão, este se tornou o único estádio do país a obter o Selo *Platinum Leadership in Energy & Environmental Design* (em português, Liderança em Energia e Design Ambiental) (MINEIRÃO, 2024).

Figura 4 - Irrigação dos gramados do estádio Mineirão com a água coletada da chuva



Fonte: Mineirão, 2024

2.4 Aproveitamento de água pluvial em Ouro Preto

Na cidade de Ouro Preto, a utilização do sistema de reaproveitamento de água pluvial ainda não é tão difundida pelos habitantes e empresas locais. Embora esse tipo de sistema de captação seja benéfico nos aspectos ambiental e econômico, é necessário que a população esteja mais engajada e comprometida em adotar práticas mais sustentáveis na utilização de recursos hídricos.

A Prefeitura de Ouro Preto, atualmente, promove incentivos à população através de campanhas e programas de preservação de recursos hídricos. No entanto, a adesão da população ainda é reduzida. Segundo dados da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (OURO PRETO, 2020 apud MELO, 2022), no ano de 2021, apenas 58 imóveis da cidade estavam cadastrados como utilizadores de sistemas de captação de água da chuva. Tais dados revelam que ainda há muito a progredir em Ouro Preto no aspecto sustentável.

2.5 Legislações

Esta seção é referente ao conjunto de leis que embasaram o presente trabalho.

2.5.1 Legislação Federal

As diretrizes referentes aos recursos hídricos no Brasil são regidas pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, também chamada de Lei das Águas, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) (BRASIL, 2019). Os principais fundamentos da PNRH incluem a água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico e sendo um recurso natural limitado (BRASIL, 1997).

As diretrizes sobre o aproveitamento de água da chuva são definidas no Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, Livro II, Título V. Neste documento, está explicitado no artigo 103 que a água pertence ao dono da edificação onde o recurso cair diretamente, portanto ele tem o direito de utilizá-la. Porém, torna-se proibido desperdiçar os recursos hídricos de direito, sob pena de indenização aos proprietários (BRASIL, 1934).

Dentre outras leis que merecem destaque e também fundamentam o uso da água no país estão:

- Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da ANA, seus objetivos e competências;
- Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que dispõe das diretrizes nacionais para o saneamento básico e da criação do Comitê Interministerial de Saneamento Básico;
- Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico.

2.5.2 Legislação Estadual

Não foram encontrados registros de Leis Estaduais específicas sobre reuso de água da chuva. No entanto, existem algumas leis que fundamentam e incentivam a população a repensar sobre o uso mais consciente da água no Estado. De acordo com a Assembleia Legislativa de Minas Gerais (ALMG) (MINAS GERAIS, 2024), são elas:

- Lei Nº 18.309, de 03/08/2009: estabelece normas acerca dos serviços de abastecimento de água e esgoto sanitário e cria a Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG) (MINAS GERAIS, 2009);
- Lei nº 23.102, de 14/11/2018: institui a política estadual de incentivo e apoio à construção de cisternas nas zonas rurais do Estado, com o objetivo de garantir melhor aproveitamento da água e fomentar o seu uso racional nessas regiões (MINAS GERAIS, 2018);
- Lei Nº 23.371, de 09/08/2019: cria o chamado Selo Azul, concedido ao município que comprovar a redução do consumo de água e o índice de perdas no sistema de abastecimento (MINAS GERAIS, 2019);
- Lei Nº 23.491, de 13/12/2019: institui a Semana Estadual de Conscientização sobre o Uso Racional da Água, realizada nos dias 22 a 28 de março, com o objetivo de incentivar o consumo consciente e o combate ao desperdício. Dentre as atividades desenvolvidas estão a realização de campanhas publicitárias; ações de caráter educativo e informativo nas escolas da rede pública; e parcerias com municípios e entes públicos ou privados para estimular a redução do consumo de água e a instalação de sistemas de reuso de água da chuva (MINAS GERAIS, 2019);

2.5.3 Legislação Municipal

Atualmente, a Prefeitura Municipal de Ouro Preto possui alguns projetos de incentivo à população ao desenvolvimento de práticas mais sustentáveis, como o “Quem Preserva Paga Menos”. O programa, que foi criado em 2011 através da Lei Complementar Nº113 e é regulamentado pelo Decreto Nº 6.398 de 2022, visa promover incentivos fiscais aos cidadãos que desenvolvem ações sustentáveis e de preservação ambiental. No caso de residências onde há sistema de captação de água pluvial, é ofertado o benefício do IPTU Verde, que equivale a 5% de isenção no valor do IPTU aos proprietários desses imóveis (OURO PRETO, 2024).

2.6 Aspectos técnicos

2.6.1 Componentes do sistema

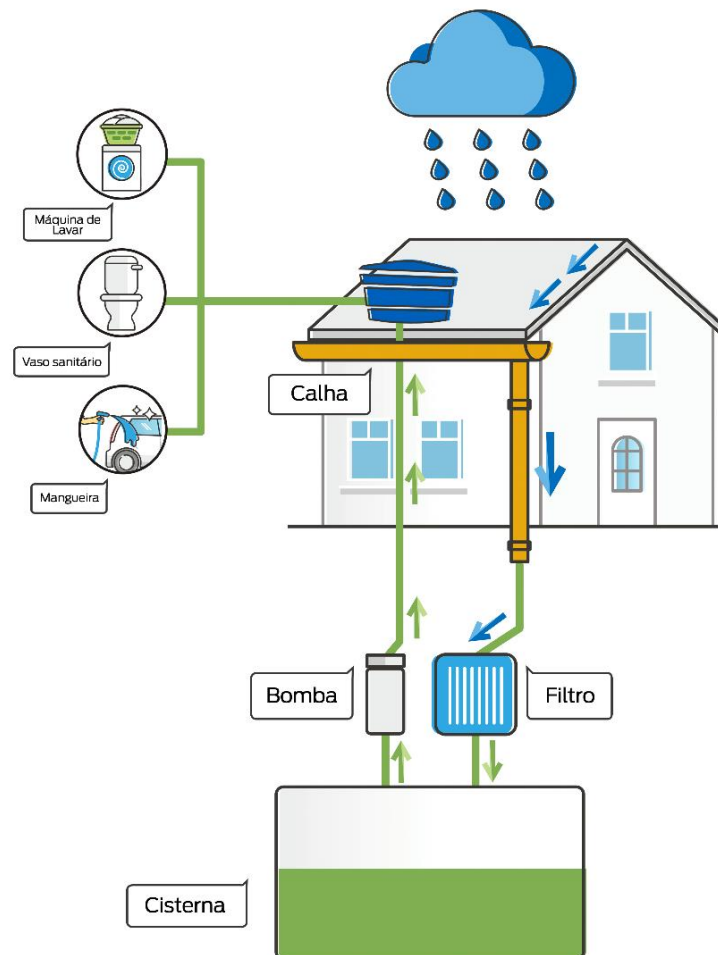
Antes de especificar os componentes envolvidos no Sistema de Captação de Águas Pluviais (SCAP), é importante entender as etapas envolvidas no processo, desde a coleta até a distribuição para consumo. A Figura 5 apresenta esses estágios em um sistema simplificado. Dessa forma, tem-se:

- **Captação:** nesta fase, a água da chuva é escoada pelo telhado da edificação. Também podem ser escolhidos terraços, varandas e outras áreas além da de cobertura para a captação, desde que não acumulem muitos resíduos ou sujeira em níveis que degradem a qualidade final da água.
- **Transporte:** as calhas recebem a água escoada e as tubulações direcionam o seu fluxo até o filtro. Geralmente não é necessário investimento adicional nesta etapa, uma vez que as tubulações e calhas já foram previamente executadas na fase de construção da edificação.
- **Filtragem:** como o telhado é fonte de agentes poluentes da água, como folhas, galhos, poeira e insetos, o material coletado passa por um filtro que retira resíduos maiores. Em seguida, a água passa por um processo de

filtragem mais acurado antes de chegar ao reservatório de armazenamento. Em sistemas mais complexos, também podem ser utilizados agentes e substâncias para desinfecção.

- Armazenamento: a água filtrada é armazenada no tanque ou cisterna, no caso de instalações residenciais. Geralmente, o reservatório de armazenamento é o componente do sistema que requer mais investimento.
- Distribuição: a distribuição da água armazenada para seu uso final é feita através de uma bomba até um reservatório superior. Em seguida, por ação da gravidade, a água é redirecionada do reservatório superior até os sub-ramais, onde poderá ser utilizada de acordo com a finalidade desejada.

Figura 5 - Etapas do sistema de reaproveitamento de água da chuva



Fonte: CEDAE, 2024

Em relação aos componentes que envolvem o sistema, Tomaz (2003) descreve a seguir e define que são estes: Área de captação; Calhas e condutores; Peneira; *By Pass*; Reservatório; Extravasor.

A. Área de captação:

Geralmente são telhados de edificações, que podem ser inclinados ou planos. O material das telhas pode ser de cerâmica, fibrocimento, zinco,

ferro galvanizado, concreto armado, plástico, entre outros. Quanto maior a superfície do telhado, maior tende a ser o potencial de captação e aproveitamento de água pelo sistema (MELO, 2022).

B. Calhas e condutores:

Podem ser de PVC ou metálicos. Idealmente, o material deve ter boa durabilidade a fim de evitar a necessidade de manutenções frequentes. Além disso, deve possuir propriedades de resistência a altas temperaturas e à corrosão (MELO, 2022).

C. Peneira, tela ou filtro autolimpante:

Dispositivos instalados na tubulação de descida de água das calhas para filtrar as impurezas mais grossas, como folhas, penas, insetos, entre outros. A Figura 6 apresenta um modelo de filtro autolimpante de baixo custo.

Figura 6 - Filtro autolimpante para água de chuva

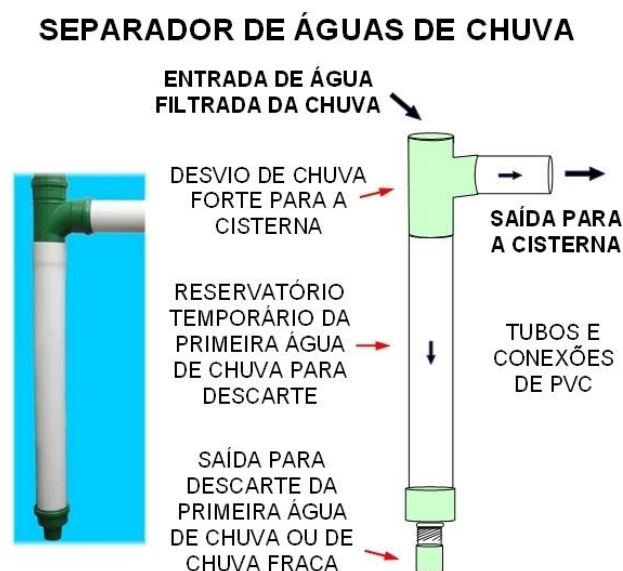


Fonte: Sempre sustentável, 2014

D. *By Pass* (ou dispositivo de descarte):

Como a primeira água da chuva possui muitas sujidades e impurezas, são utilizados dispositivos que desviam essa parcela do fluxo de água para fora do reservatório. Esse desvio pode ser feito de forma manual ou automática através de mecanismos de autolimpeza. Estudos realizados com dois tipos de dispositivos de desvio automático em 8 cisternas rurais na região do semiárido da Paraíba constataram que esses mecanismos apresentaram alta eficiência como barreiras sanitárias e grande melhoria da qualidade da água (XAVIER, 2010). A Figura 7 apresenta um dispositivo de descarte de baixo custo.

Figura 7 - Dispositivo de descarte



Fonte: Sempre Sustentável, 2014

E. Filtros:

São dispositivos usados para limpar a água captada. O filtro volumétrico é ideal para o SCAP por possuir alta eficiência independente da intensidade do fluxo de água que passa por ele, pode ser facilmente retirado para limpeza e não necessita de revisões frequentes (TOMAZ, 2003). O material pode ser em polietileno ou aço inox. A Figura 8 apresenta o mecanismo de um filtro volumétrico.

Figura 8 - Interior de um filtro volumétrico



Fonte: Eco sustentável, 2023

F. Reservatórios ou cisternas:

Possuem a função de armazenar a água coletada pelo sistema e podem estar apoiados, elevados ou enterrados no solo. O material pode ser de alvenaria de tijolos comuns, plásticos, poliéster, concreto armado, entre outros.

G. Extravasor:

Também chamado de ladrão, é uma tubulação instalada nos reservatórios para permitir que a água extravase. Segundo Andrade Neto (2013), é importante que a saída do extravasor também possua mecanismo que impeça a entrada de pequenos animais e ventilação para garantir a reoxigenação da água. Isto pode ser feito através de telas ou malhas de plástico, de náilon ou de metal.

Outros dispositivos que podem compor o SCAP são:

H. Bomba:

Será necessária para transportar a água armazenada até os dispositivos de consumo ou até o reservatório superior, caso o SCAP seja de recalque. Podem ser do tipo centrífugas (Figura 9), mais comumente utilizadas para fins domésticos, ou ainda submersíveis. As bombas centrífugas ou

dinâmicas possuem um rotor acoplado a um disco com pás, que recebe o líquido pelo seu centro e o expulsa devido a ação da força centrífuga (ELETROBRÁS et al., 2009). Já as bombas submersíveis são mais indicadas para reservatórios subterrâneos.

I. Sistemas de desinfecção:

Dependendo do uso ao qual a água será destinada, serão necessários dispositivos para tratá-la a fim de garantir uma qualidade superior do produto final. A Norma Brasileira NBR 15.527 (ABNT, 2019) recomenda que sejam utilizados derivados de clorado, ultravioleta, ozônio, entre outros.

Figura 9 - Modelo de bomba centrífuga para uso doméstico



Fonte: Shimge, 2024

2.6.2 Normas técnicas e recomendações de projeto

O uso do SCAP para fins não potáveis e consumo doméstico tem sido utilizado em todo o mundo como prática milenar, sendo uma tecnologia que vem ganhando cada vez mais espaço quando se fala em sustentabilidade e economia financeira. No entanto, como explicitado por Andrade Neto (2013), pode ocorrer contaminação da água da chuva quando esta atinge camadas da atmosfera que estejam mais próximas

do solo, ou quando atinge a superfície de captação, ou ainda quando a água foi armazenada de forma inadequada e sem proteção.

Com o objetivo de fundamentar a aplicação do SCAP para fins não potáveis em áreas urbanas, garantir uma instalação mais segura e eficiente do sistema e evitar contaminações que prejudiquem a qualidade da água coletada, entrou em vigor em 2007 a Norma Brasileira NBR 15.527, que foi revisada em 2019. Esta Norma tem como escopo fornecer as diretrizes e requisitos para o aproveitamento de água de chuva em coberturas de áreas urbanas para fins não potáveis, como lavagem de veículos, irrigação de jardins e descargas em sanitários.

De acordo com a NBR 15.527 (ABNT, 2019), o SCAP também deve, idealmente, atender a outras Normas relacionadas à instalação, sendo elas:

- ABNT NBR 5.626, que trata de instalações prediais de água fria;
- ABNT NBR 10.844, que trata de instalações prediais de águas pluviais.

Alguns termos e conceitos importantes também são definidos nesta Norma, como:

- Água de chuva: água proveniente de precipitações e coletada em coberturas e telhados, onde não há circulação de pessoas, veículos ou animais;
- Altura pluviométrica: volume de água precipitada por unidade de área horizontal (ABNT, 2019, p. 1);
- Área de captação: área projetada na horizontal à da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada (ABNT, 2019, p. 2);
- Conexão cruzada: qualquer ligação entre duas tubulações, na qual uma tubulação conduza água potável e a outra conduza água de qualidade inferior, desconhecida ou não potável;
- Escoamento inicial: água que chega da área de captação, capaz de carregar os detritos e sujidades;
- Intensidade pluviométrica: relação entre a altura pluviométrica precipitada sobre um determinado intervalo de tempo;

- Período de retorno: número médio de anos em que, para a mesma duração de precipitação, uma determinada intensidade pluviométrica é igualada ou ultrapassada apenas uma vez (ABNT, 2019, p. 2);
- Separação atmosférica: separação física entre o ponto de utilização ou de suprimento; e a geratriz superior do tubo extravasor ou dos componentes relacionados ao ponto de utilização;
- Suprimento: água que será utilizada para complementar o volume do reservatório de água pluvial.

Em relação às recomendações de projeto e execução do SCAP, a NBR 15527 (ABNT, 2019) enfatiza que:

- A área de captação deve receber atenção quanto à possíveis fontes de contaminação;
- O SCAP deve possuir dispositivos que impeçam a entrada e proliferação de vetores, principalmente mosquitos;
- Para calhas e condutores, é recomendado um período de retorno de pelo menos 25 anos;
- A água pluvial coletada deve passar por um pré-tratamento antes da reservação, com dispositivos de boa durabilidade e fácil manutenção;
- É recomendada a instalação de grades ou telas para retenção ou desvio de sólidos e detritos indesejáveis, com o objetivo de garantir a qualidade da água nos reservatórios de armazenamento;
- Para aumentar a qualidade da água, é importante que o sistema possua dispositivo *By Pass* para descarte de 2mm da precipitação inicial e que este seja, preferencialmente, automático. Também é recomendado que o dispositivo não interfira no fluxo das calhas e condutores, reduzindo suas vazões;
- O dimensionamento dos reservatórios deve levar em conta a área de captação, o regime de chuvas da região e a demanda de água não potável que será suprida;

- O reservatório deve ser seguro, fechado, possuir extravasor, dispositivo de esgotamento, inspeção, ventilação, mecanismos contra a entrada de insetos e outros animais e ser devidamente identificado;
- Quando houver suprimento de água potável no reservatório de água pluvial, deve ser instalado dispositivo de separação atmosférica com uma distância de, no mínimo, 3 cm para evitar contaminação entre as águas;
- As tubulações e válvulas devem ser diferenciadas das de água potável;
- De acordo com a ABNT NBR 5.626, o sistema de distribuição deve ser separado e independente do de água potável, a fim de impedir a conexão cruzada;
- Os reservatórios de água potável e água de chuva também devem estar separados a uma distância de, no mínimo, 60 cm para impedir a mistura entre as águas e garantir o acesso à manutenção;
- Devem ser previstos em projeto os acessos para inspeção e manutenção das tubulações;

A água de chuva coletada, após passar pelos processos de filtragem e estar disponível para utilização, deve apresentar qualidade satisfatória compatível com o uso a qual será destinada. Neste sentido, a NBR 15.527 (ABNT, 2019) dispõe na Tabela 1 os seguintes parâmetros mínimos de qualidade da água para fins não potáveis:

Tabela 1 - Parâmetros mínimos de qualidade da água

Parâmetro	Valor
<i>Escherichia coli</i>	< 200 / 100 mL
Turbidez	< 5,0 uT
pH	6,0 a 9,0

Fonte: ABNT, 2019

De acordo com a tabela acima, os coliformes (*E. coli*) não devem ultrapassar a contagem de 200 em uma amostra de 100 mL de volume e o valor máximo de turbidez deve ser de 5 unidades de turbidez em todas as amostras que forem coletadas. Se

necessário, deve ser feito ajuste do pH a fim de proteger as redes de distribuição. Além disso, segundo a Norma, a cada 6 meses tais parâmetros devem ser verificados e monitorados através de inspeções, coleta de amostras e análises em laboratório.

As normas e recomendações citadas acima devem ser respeitadas e executadas a fim de garantir a implementação de um SCAP eficiente, seguro e com qualidade satisfatória da água coleta para consumo.

No entanto, no presente estudo de caso, o aspecto da qualidade da água não será analisado.

2.7 Dimensionamento do reservatório

Como o reservatório é um dos componentes do SCAP que mais requer investimento, é essencial que este seja dimensionado de forma precisa a fim de garantir um sistema eficiente e econômico. Como já mencionado anteriormente, ao dimensionar um reservatório, devem ser levados em conta critérios como área de captação, o regime de chuvas da região em que o sistema será instalado e a demanda que será suprida com água não potável. A NBR 15.527 (ABNT, 2007) apresenta algumas metodologias de dimensionamento, que serão descritas a seguir. Cada um desses métodos possui suas particularidades, e deverão ser escolhidos aqueles que mais se adequarem às características e à realidade do sistema que será instalado.

2.7.1 Método de Rippl

Também é chamado de Método do Diagrama das Massas, é um dos mais citados em bibliografias e obras sobre o assunto. No entanto, como esta metodologia foi desenvolvida, a princípio, para grandes reservatórios, seus resultados tendem a um superdimensionamento de volume de armazenamento (DE AMORIM, 2008).

Neste método, são usadas séries históricas mensais ou diárias (ABNT, 2007). Para o cálculo, é feito um balanço entre vazões de entrada e de saída (demandas por

água) em um mesmo período, levando em conta fatores como o regime de chuvas e a área de captação (MIERZWA et al., 2007).

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (1)$$

Onde:

$S_{(t)}$: Volume de água no reservatório no tempo t (m³);

$D_{(t)}$: Demanda (ou consumo no tempo t (m³);

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m³);

2.7.2 Método da Simulação

Tem esse nome pois é baseado no dimensionamento pela metodologia de tentativa e erro, determinando a eficiência do sistema através da relação entre os períodos de cheia do reservatório com todo o período da simulação (MELO, 2022). Para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (2)$$

Sendo que:

$$0 \leq S_{(t)} \leq V \quad (3)$$

Onde:

$S_{(t)}$: Volume de água no reservatório no tempo t (m³);

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m³);

$S_{(t-1)}$: Volume de água no reservatório no tempo t-1 (m³);

$D_{(t)}$: Demanda (ou consumo) no tempo t (m³);

V : Volume do reservatório fixado (m³);

Segundo Fonseca (2019), os métodos a seguir se baseiam em equações empíricas para dimensionamento de reservatórios.

2.7.3 Método Azevedo Neto

Também é chamado de Método Prático Brasileiro e utiliza apenas 3 parâmetros para dimensionamento do volume reservado. Desta forma, tem-se:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (4)$$

Onde:

V : volume de água aproveitável e volume de água do reservatório (L);

P : precipitação média anual (mm);

A : área de coleta em projeção (m²);

T : número de meses em que houve pouca chuva ou seca.

2.7.4 Método Prático Alemão

Neste método, é considerado como aproveitável o menor volume do reservatório: 6% do consumo anual ou 6% da precipitação anual aproveitável (ABNT, 2007):

$$V_{adotado} = \min(V; D) \times 0,06 \quad (5)$$

Onde:

$V_{adotado}$: volume do reservatório (L);

V : volume aproveitável de água de chuva anualmente (L);

D : demanda anual de água não potável (L).

2.7.5 Método Prático Inglês

Neste método, a demanda não é considerada, de forma que o volume para o reservatório seja calculado como 5% dos valores de precipitação média anual e área de captação. Desta forma, tem-se:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (6)$$

Onde:

V : água do reservatório (m^3);

P : precipitação média anual (mm);

A : área de captação (m^2);

2.7.6 Método Prático Australiano

O método de cálculo é baseado em tentativas, até que sejam alcançados valores de confiança e volume do reservatório satisfatórios. Os valores de confiança devem estar entre 90% e 99%, por recomendação da NBR 15.527(ABNT, 2007).

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (7)$$

Onde:

P_r : falha;

N_r : número de meses em que o reservatório não atendeu a demanda exigida;

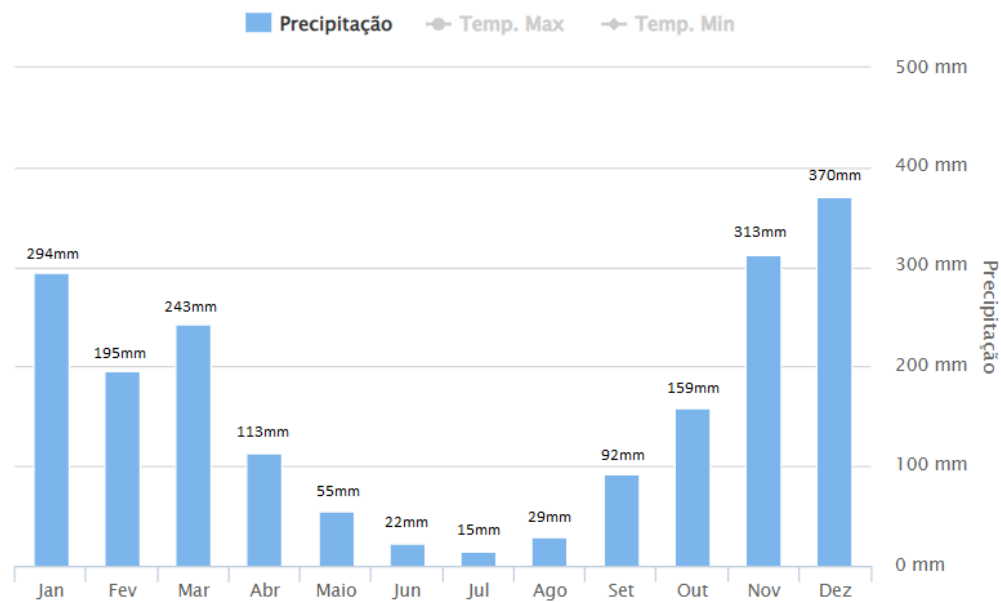
N : número de meses considerado (geralmente, consideram-se 12).

2.8 Regime pluviométrico de Ouro Preto

A cidade de Ouro Preto possui clima tropical de altitude, com distribuição irregular de chuvas ao longo do ano e uma média de precipitação anual de 2018 mm, segundo a Secretaria Municipal de Cultura e Turismo (2024). A Figura 10 representa o regime

de chuvas na cidade de Ouro Preto, com dados climatológicos divulgados pelo Clima Tempo (2024). Os maiores índices de precipitação são observados nos meses de setembro a março, durante a primavera e o verão:

Figura 10 - Precipitação média mensal em Ouro Preto



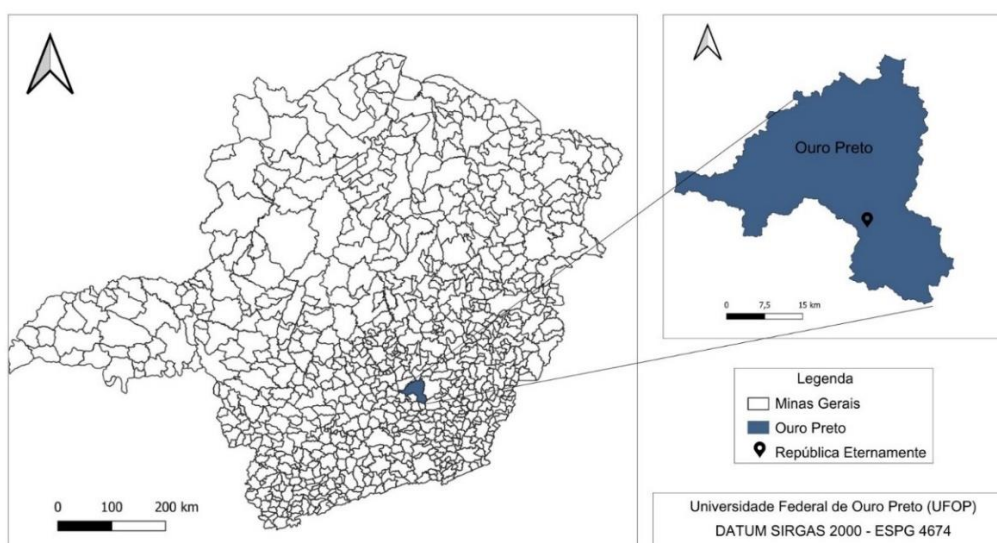
Fonte: Clima Tempo, 2024

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O local de análise para o presente estudo de caso encontra-se na região central de cidade de Ouro Preto, Minas Gerais, na rua Conde de Bobadela. As coordenadas geográficas são 20°23'07.3"S e 43°30'19.3"W a uma altitude de 1.124 metros, como está georreferenciado na Figura 11.

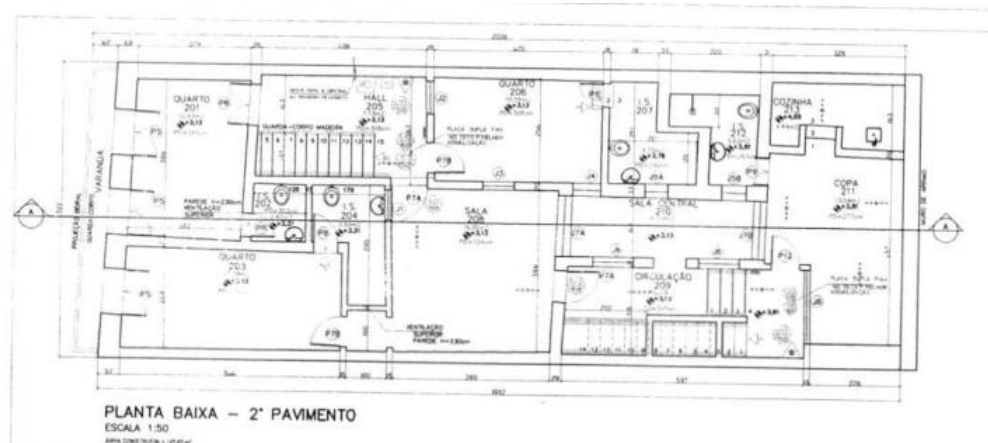
Figura 11 - Localização da República Eternamente



Fonte: Elaborado por Maria Clara Líbero, 2024

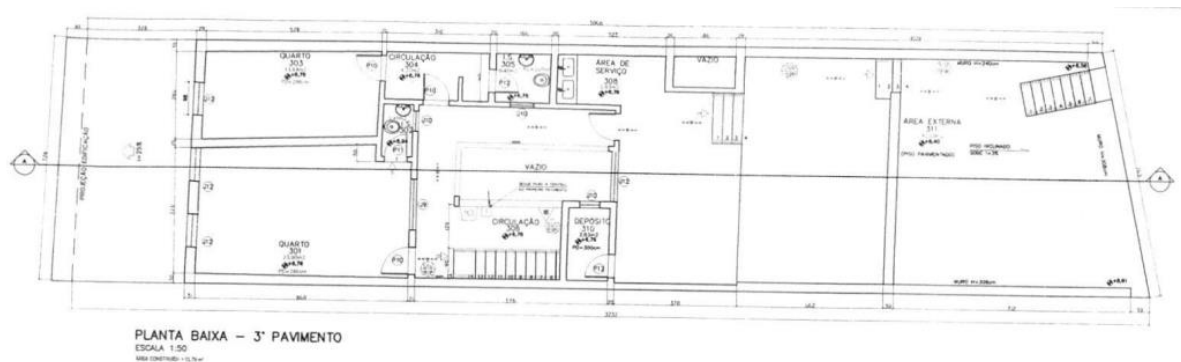
A edificação é sede da República Eternamente, moradia estudantil particular fundada em 1995. A casa conta com *hall* de entrada, 5 quartos, sendo 2 deles suíte, cozinha, sala de estar, sala de estudos, 3 banheiros e área externa. O segundo pavimento possui 145,62 m² de área construída e o terceiro, 72,79 m², resultando em uma área total construída de 218,41 m². A área externa possui aproximadamente 110,94 m². Na Figura 12 e na Figura 13 são representadas as plantas baixas da edificação. O pavimento térreo não foi representado, pois possui apenas o hall de entrada e a escada de acesso à casa, não sendo utilizado para fins de cálculo deste estudo.

Figura 12 - Planta baixa do segundo pavimento da residência



Fonte: disponibilizado pelas moradoras do imóvel

Figura 13 - Planta baixa do terceiro pavimento da residência.



Fonte: disponibilizado pelas moradoras do imóvel

Na Figura 14 está apresentada a fachada da edificação, que possui 7,28 m de comprimento. Na imagem é possível observar a projeção do beiral do telhado. No pavimento térreo encontra-se um ponto comercial.

Figura 14 - Fachada da República Eternamente

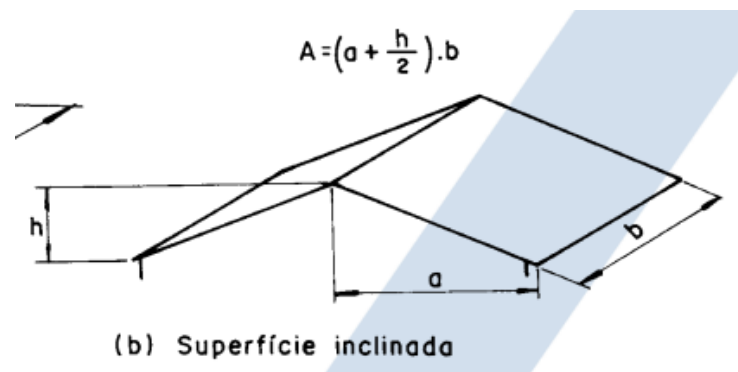


Fonte: fotografado pela autora

3.2 Área de captação

Para cálculo da superfície de captação ou área de contribuição será utilizada a equação fornecida pela NBR 10844/1989 para superfícies inclinadas, apresentada na Figura 15 a seguir:

Figura 15 - Equação para cálculo de área de contribuição de superfícies inclinadas

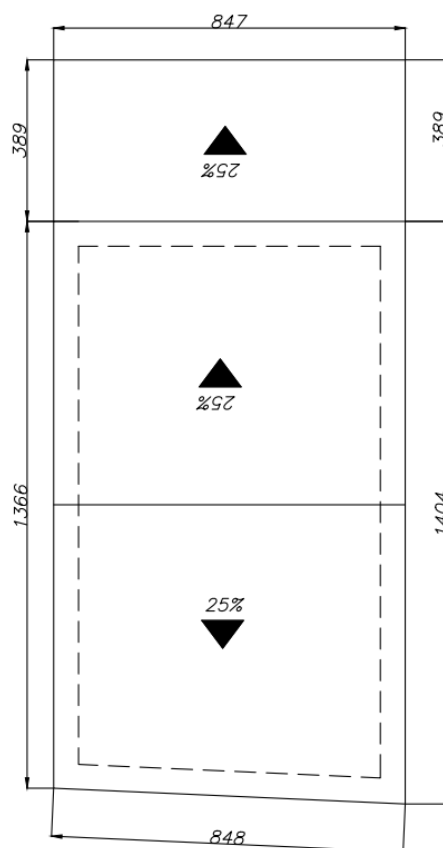


(8)

Fonte: ABNT, 1989.

A edificação possui dois telhados que irão direcionar o fluxo de água para as mesmas calhas, portanto as áreas de contribuição dos telhados 1 e 2 do 3º pavimento serão somadas para cálculo da área de contribuição total. Os telhados são constituídos de telha cerâmica vermelha, amplamente utilizada nas edificações da cidade, e possuem inclinação da superfície de 25%. O telhado 1 possui uma água apenas, enquanto o telhado 2 possui duas águas, como representado na Figura 16:

Figura 16 - Planta baixa dos telhados, executada com auxílio do software AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora, 2024 (unidades em cm).

A água da chuva será captada pelos telhados da edificação e direcionada pelas calhas aos reservatórios de armazenamento, localizados na área externa da residência. Estes reservatórios serão dimensionados de acordo com métodos específicos e mais adequados para o sistema proposto. Em seguida, a água armazenada será conduzida por uma bomba hidráulica até um reservatório superior localizado no sótão do terceiro pavimento, onde será direcionada aos pontos de utilização por ação da gravidade.

Além da bomba hidráulica, o sistema conta com dispositivo de descarte das primeiras águas, filtro para limpeza da água captada e grades para impedir a passagem de sujidades.

3.3 Demanda e consumo de água

Esta seção é referente a toda a metodologia de cálculo dos volumes de água captada e consumida.

3.3.1 Volume de captação

O cálculo estimado do volume disponível para captação depende do regime pluviométrico do local estudado, bem como da área de captação utilizada. As equações utilizadas são descritas a seguir:

$$V_d = V_p - (\text{dias chovidos} \times 2\text{mm}) \quad (9)$$

$$V_{dc} = \frac{V_d \times A}{1000} \quad (10)$$

V_p = Volume precipitado (mm)

V_d = Volume disponível para captação (mm)

V_{dc} = Volume de captação, considerando a superfície de captação (m³)

A = Área da superfície de captação (m²)

Como mencionado previamente, o descarte dos dois primeiros milímetros de chuva é recomendado pela norma para evitar contaminação da água com possíveis resíduos presentes no telhado. Dessa forma, na equação (9) para cálculo do volume disponível de captação, a quantidade de dias chovidos no mês é multiplicada por 2mm e o valor encontrado é subtraído do volume precipitado.

3.3.2 Volume de consumo por atividade

Para as atividades que não necessitam exclusivamente de água potável, é necessário encontrar o volume de água que será consumido por cada atividade. Esse parâmetro é importante, pois auxilia no cálculo de dimensionamento do reservatório de armazenamento de água não potável. Dessa forma, tem-se:

$$V_{\text{não potável}} = C \times f \quad (11)$$

$V_{\text{não potável}}$ = Volume de água não potável (L)

C = Volume de água consumido por atividade (L)

f = Frequência em que a atividade é realizada (diária ou mensal)

3.4 Dimensionamento do reservatório de armazenamento

Como descrito no item 2.7, a NBR 15.527 prevê alguns métodos de dimensionamento de reservatórios. Os métodos escolhidos para o presente estudo de caso são o Método Prático Alemão, Azevedo Neto (ou Método Prático Brasileiro) e o Rippl (ou Método do Diagrama das Massas) devido a praticidade de determinação de parâmetros de cálculo para dimensionamento.

O Método Azevedo Neto, assim como o Prático Alemão são métodos práticos determinados por meio de equações empíricas. Já o método de Rippl é considerado um método de simulação e utiliza dados com o objetivo de favorecer as variabilidades espaciais e temporais das chuvas (FONSECA, 2019). Como o Método de Rippl tende a apresentar valores superdimensionados, seus resultados serão utilizados como parâmetro de volume máximo para o reservatório de armazenamento do sistema em questão. Da mesma forma, como o Método Prático Alemão gera resultados muito reduzidos, este método será utilizado como parâmetro de volume mínimo para o reservatório de armazenamento.

Além do dimensionamento, será feita uma análise da viabilidade de implantação do reservatório nos limites da edificação, levando em conta a área disponível para instalação e a demanda por água não potável que será atendida.

O cálculo de mm de chuva necessários para atingir a capacidade do reservatório também deve ser feito através da seguinte equação:

$$V = A \times mm_{chovidos} \quad (12)$$

3.5 Análise de economia e consumo

Atualmente, a concessionária de água que presta serviço para a cidade de Ouro Preto é a Saneouro. Nos últimos anos, a população pagava uma taxa fixa de 22 reais mensais pelo fornecimento e tratamento de água e esgoto na cidade. Em dezembro de 2021, a empresa já havia instalado hidrômetros em mais de 90% das residências de Ouro Preto e a tarifa passou a ser cobrada de acordo com o consumo mensal da população. Este acontecimento gerou revolta em grande parte das pessoas, pois as tarifas cobradas apresentaram valores acima dos esperados pelos residentes locais.

No presente estudo, será feita uma análise comparativa da economia financeira e da economia de água potável gerada pela instalação do SCAP em relação aos dados de consumo atuais da residência. Para a análise comparativa, serão utilizadas as seguintes equações:

- Média:

$$\mu = \frac{\sum x}{n} \quad (13)$$

μ = Média

$\sum x$ = Somatório dos indicadores

n = número de indicadores

- Fatura mensal:

A Saneouro classifica os consumidores em categorias, conforme o tipo de edificação e o intervalo de consumo. Dessa forma, quanto maior o consumo, maiores serão as tarifas (SANEOURO, 2024). A Tabela 2 apresenta a estrutura tarifária proposta pela Saneouro para a categoria residencial e suas respectivas faixas de consumo:

Tabela 2 - Estrutura tarifária de água e esgoto de acordo com as faixas de consumo para a categoria residencial

Categoria	Faixas	Água	EDC	EDT	Unidade
Residencial	Fixa	21,971	8,295	20,844	R\$/Mês
	0 a 10 m ³	1,789	0,674	1,700	R\$/m ³
	10 a 15 m ³	4,909	1,853	4,659	R\$/m ³
	15 a 20 m ³	10,644	3,994	10,111	R\$/m ³
	20 a 40 m ³	12,215	4,536	11,622	R\$/m ³
	> 40 m ³	19,627	7,340	18,655	R\$/m ³

Fonte: Saneouro, 2024

Onde:

EDC: esgotamento dinâmico com coleta

EDT: esgotamento dinâmico com coleta e tratamento

Para o cálculo da tarifa mensal, as tarifas fixas de água e esgoto são somadas às respectivas tarifas de faixas de consumo multiplicadas pelos volumes de água consumidos, como demonstrado na seguinte equação:

$$F_{total} = [t_{fa} + (\sum C \times t_{ia})] + [t_{fe} + (\sum C \times t_{ie})] \quad (14)$$

F_{total}= Fatura total da conta de água (reais)

t_{fa}= Tarifa fixa de água (reais)

t_{fe}= Tarifa fixa de esgoto (reais)

C= Volume consumido de água (m³)

t_{ia}= Tarifa da faixa i de água (reais)

t_{ie}= Tarifa da faixa i de esgoto (reais)

- Recuperação do investimento

$$T_{recuperação} = \frac{I}{E_{mensal}} \quad (15)$$

$T_{recuperação}$ = Tempo de recuperação do investimento (meses)

E_{mensal} = Economia mensal (reais)

I = Investimento (reais)

4. RESULTADOS

4.1 Cálculo da área de captação

Para cálculo da área de captação total, será calculada a área de cada telhado e em seguida elas serão somadas. Dessa forma, utilizando a equação (8) representada na Figura 15 para cálculo de superfícies inclinadas fornecida pela ABNT e com uma altura h dos telhados de 1,75m, tem-se:

- Telhado 1:

$$A_1 = \left(3,89 + \frac{1,75}{2} \right) \times 8,47$$
$$A_1 = 40,41m^2$$

- Telhado 2:

Água 1:

$$A_{2,\text{água } 1} = \left(7,02 + \frac{1,75}{2} \right) \times 8,47$$
$$A_{2,\text{água } 1} = 66,87m^2$$

Água 2:

Como as laterais dessa parte do telhado possuem medidas diferentes, foi utilizado um valor médio entre os dois valores no cálculo de “a”, logo:

$$a_{\text{médio}} = \frac{6,64 + 7,02}{2}$$
$$a_{\text{médio}} = 6,83 \text{ m}$$

$$A_{2,\text{água } 2} = \left(6,83 + \frac{1,75}{2} \right) \times 8,48$$
$$A_{2,\text{água } 2} = 65,34m^2$$

A área de captação total será a soma das áreas calculadas anteriormente, portanto tem-se:

$$A_{Total} = 40,41 + 66,87 + 65,34$$

$$A_{Total} = 172,62 \text{ m}^2$$

4.2 Cálculo estimado do volume de captação mensal

Para cálculo estimado do volume de chuva que será captado mensalmente durante todo o ano, é necessário considerar a área de captação do telhado e o regime de chuvas de Ouro Preto. Na Tabela 3, em V_p , estão representados os valores médios de precipitação em Ouro Preto num intervalo de 30 anos, entre 1991 e 2021; assim como a média mensal de dias chuvosos no mesmo intervalo de tempo. O volume disponível para captação (V_d) e o volume de captação considerando a superfície de coleta (V_{dc}) foram calculados através das equações (9) e (10), descritas na seção 3.3.1:

Tabela 3 - Valores médios de precipitação de Ouro Preto entre 1991 e 2021

Mês	V_p (mm)	Dias de chuva	V_d (mm)	V_{dc} (m ³)
Janeiro	288	14	260	44,88
Fevereiro	187	12	163	28,14
Março	231	14	203	35,04
Abril	106	11	84	14,50
Maio	55	7	41	7,08
Junho	22	3	16	2,76
Julho	17	3	11	1,90
Agosto	29	4	21	3,63
Setembro	90	8	74	12,77
Outubro	142	12	118	20,37
Novembro	293	16	261	45,05
Dezembro	344	18	308	53,17

Fonte: elaborado pela autora (dados: ClimateData, 2024)

4.3 Cálculo do volume de consumo por atividade

Segundo dados divulgados pelo Painel Saneamento Brasil (2024), em 2022 o consumo *per capita* de água em Ouro Preto foi de 179,85 litros diários, ultrapassando os 110 litros diários sugeridos pela ONU como suficientes para suprir as necessidades básicas de um ser humano. Para fins de cálculo, será considerado o valor de 148,2 litros diários por habitante, dado divulgado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2023) que representa o consumo médio de água no Brasil em 2022.

A residência em estudo possui 13 moradoras. Portanto, as médias de consumo de água na república são:

$$C_{diário} = 148,2 \times 13 = 1.926,6 \text{ L/dia}$$

$$C_{mensal} = 1.926,6 \times 30 \text{ dias} = 57.798 \text{ L/mês}$$

$$C_{anual} = 1.926,6 \times 365 \text{ dias} = 703.209 \text{ L/ano}$$

As atividades que não necessitam exclusivamente de água potável e que serão analisadas neste estudo serão a de descarga em sanitários, lavagem de roupas e limpeza da área externa. Em entrevista com as moradoras da república, constatou-se que as atividades escolhidas são as que, atualmente, mais consomem água na residência devido à alta frequência e o alto consumo por execução. Dessa forma, o uso de água da chuva em tais atividades tende a ser mais eficiente quando se visa economia de recurso hídrico potável e economia na tarifa mensal de água.

Para a descarga em sanitários, considerou-se que cada pessoa use o banheiro em média 6 vezes ao dia e que cada descarga consome um total de 12 litros por acionamento. Portanto, os volumes médios de água não potável utilizada para esta atividade serão:

$$V_{\text{não potável}, \text{diário}} = (12 \times 6) \times 13 = 936 \text{ L}$$

$$V_{\text{não potável}, \text{mensal}} = 936 \times 30 = 28.080 \text{ L}$$

Para a lavagem de roupas, considerou-se que a lavadora de 17kg consome 150 litros de água por ciclo e que ela é utilizada 1 vez ao dia todos os dias (os dados de frequência de uso e modelo da lavadora foram coletados em entrevista com as moradoras). Portanto, os volumes médios de água não potável utilizada para esta atividade serão:

$$V_{\text{não potável},\text{diário}} = 150 \text{ L}$$

$$V_{\text{não potável},\text{mensal}} = 150 \times 30 = 4.500 \text{ L}$$

Para a limpeza da área externa, foi estimado um consumo de 100 litros de água e que essa limpeza é feita 1 vez por semana. Portanto, o volume médio mensal de água não potável utilizada para esta atividade é:

$$V_{\text{não potável},\text{mensal}} = 100 \times 4 \text{ semanas} = 400 \text{ L}$$

Assim, o valor total de água utilizado em atividades para fins não potáveis é:

$$V_{T,\text{não potável},\text{mensal}} = 28.080 + 4.500 + 400 = 32.980 \text{ L}$$

Portanto, o gasto mensal de água potável da residência sofreria uma redução de 57.798 L para 24.818 L, o equivalente a uma economia de 57% de uso desse recurso no mês.

4.4 Dimensionamento do reservatório de armazenamento

4.4.1 Método de Rippl

Para cálculo do volume do reservatório por este método, também chamado de Método do Diagrama das Massas, será utilizada a equação (1) descrita na seção 2.7.1, onde são considerados os parâmetros de demanda/consumo e volume de chuva coletada para um mesmo intervalo de tempo t .

O consumo de água pluvial no período de 1 ano será o consumo anual de água da residência multiplicado pela porcentagem que será substituída por água da chuva. Esses parâmetros foram calculados anteriormente na seção 4.3. Logo:

$$C_{anual,pluvial} = 703.209 \times 0,57 = 400.829,1 \text{ L/ano}$$

$$C_{mensal,pluvial} = \frac{400.829,13}{12} = 33.402,4 \text{ L/mês}$$

$$D_{(t)} = 33.402,4 \frac{\text{L}}{\text{mês}} = 33,4 \frac{\text{m}^3}{\text{mês}}$$

Para efeitos de cálculo, $D_{(t)}$ será considerado como constante para todos os meses analisados. Utilizando os dados da Tabela 3, foi possível construir a Tabela 4 a seguir, que apresenta os resultados obtidos através da equação (1) para cada mês do ano:

Tabela 4 - Resultados obtidos com a aplicação do Método de Rippl

Mês	V _p (mm)	D _(t) (m ³)	V _{dc} ou Q _(t) (m ³)	D _(t) - Q _(t) (m ³)
Janeiro	288	33,40	44,88	-11,48
Fevereiro	187	33,40	28,14	5,26
Março	231	33,40	35,04	-1,64
Abril	106	33,40	14,50	18,9
Maio	55	33,40	7,08	26,32
Junho	22	33,40	2,76	30,64
Julho	17	33,40	1,90	31,50
Agosto	29	33,40	3,63	29,77
Setembro	90	33,40	12,77	20,63
Outubro	142	33,40	20,37	13,03
Novembro	293	33,40	45,05	-11,65
Dezembro	344	33,40	53,17	-19,77

Fonte: elaborado pela autora (dados: ClimateData)

Somando os valores de $D_{(t)} - Q_{(t)}$ obtidos na tabela anterior, tem-se o volume do reservatório que deve ser armazenado para abastecer a demanda por água não potável em todos os meses do ano. Portanto:

$$S_{(t)} = V_{\text{reservatório}} = 131,51 \text{ m}^3 = 131.510 \text{ L}$$

Para encontrar o volume de chuva em mm necessário para encher o reservatório dimensionado, é importante entender que 1mm de chuva equivale a mesma quantidade em litros de chuva numa área de 1m². Por exemplo, se em um dado local a precipitação foi de 70mm no dia, isso é o mesmo que dizer que nesse mesmo local choveu um volume de 70 litros de água por m² de área. Dessa forma, pela equação (12), tem-se:

$$131.510 = 172,62 \times mm_{\text{chovidos}}$$

$$mm_{\text{chovidos}} = 761,85 \text{ mm} = 761,85 \frac{\text{litros}}{\text{m}^2}$$

Como este método tende ao superdimensionamento do reservatório, ele será utilizado como parâmetro hipotético de volume máximo de água não potável armazenada.

4.4.2 Método Azevedo Neto

Para cálculo do volume do reservatório por este método, será utilizada a equação (4) descrita na seção 2.7.3, onde são considerados os parâmetros de precipitação anual, a área de projeção do telhado e o número de meses em que houve pouca ou nenhuma chuva. Pela Tabela 3, o valor de precipitação anual considerado será o somatório das precipitações de cada mês, e os meses menos chuvosos serão junho, julho e agosto. Assim, tem-se:

$$V_{\text{reservatório}} = 0,042 \times 1804 \times 172,62 \times 3$$

$$V_{\text{reservatório}} = 39.237,22 \text{ L} = 39,24 \text{ m}^3$$

O valor encontrado corresponde ao volume que deve ser armazenado para garantir o abastecimento da residência no pior cenário chuvoso do ano. Consequentemente, um reservatório com essa capacidade de armazenamento

também será capaz de atender a demanda por água não potável nos outros meses do ano.

Para encontrar o volume de chuva em mm necessário para encher o reservatório dimensionado pela equação (12), tem-se:

$$39.237,22 = 172,62 \times mm_{chovidos}$$

$$mm_{chovidos} = 227,30 \text{ mm} = 227,30 \text{ litros/m}^2$$

4.4.3 Método Prático Alemão

Para cálculo do volume do reservatório por este método, será utilizada a equação (5) descrita na seção 2.7.4, onde são considerados os parâmetros de volume anual aproveitável de água pluvial e demanda/consumo anual por água não potável. Esses valores foram calculados anteriormente na seção 4.3. Portanto, tem-se:

$$D = C_{anual} \times (\% \text{ substituída por água da chuva})$$

$$D = 703.209 \times 0,57 = 400.829,13 \text{ L}$$

O volume anual aproveitável de água pluvial será o somatório dos valores de V_{dc} apresentados na Tabela 3. Logo:

$$V = 269,29 \text{ m}^3 = 269.290 \text{ L}$$

Como entre os valores de V e D, o mínimo é igual a 269.290 L, tem-se:

$$V_{adotado} = 269.290 \times 0,06$$

$$V_{adotado} = 16.157,4 \text{ L} = 16,16 \text{ m}^3$$

Para encontrar o volume de chuva em mm necessário para encher o reservatório dimensionado pela equação (12), tem-se:

$$16.157,4 = 172,62 \times mm_{chovidos}$$

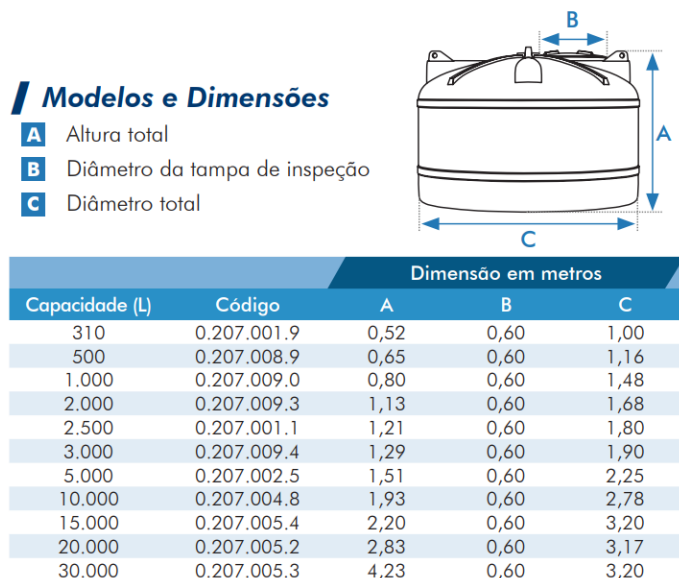
$$mm_{chovidos} = 93,6 \text{ mm} = 93,6 \text{ litros/m}^2$$

4.5 Análise da área disponível para implantação do sistema

Para a implantação dos reservatórios de armazenamento do SCAP foi escolhido o segundo pátio da área externa. Esse local foi considerado por possuir uma grande área inutilizada disponível (aproximadamente 46,77 m²) e por não impactar significativamente na estética da residência. Os reservatórios serão instalados apoiados na superfície, devido à praticidade e economia com a instalação.

Existe uma grande variedade de reservatórios no mercado e suas dimensões variam de acordo com a marca escolhida. Através de pesquisas para avaliar o melhor custo-benefício, optou-se pela Fortlev, marca referência no mercado que utiliza materiais de alta performance e durabilidade. Os reservatórios possuem proteção UV, são feitos de polietileno e possuem vedação total para impedir a entrada de sujeira e insetos (FORTLEV, 2024). Na Figura 17 a seguir, estão apresentados os modelos de tanques fornecidos pela Fortlev:

Figura 17 - Dimensões dos tanques Fortlev



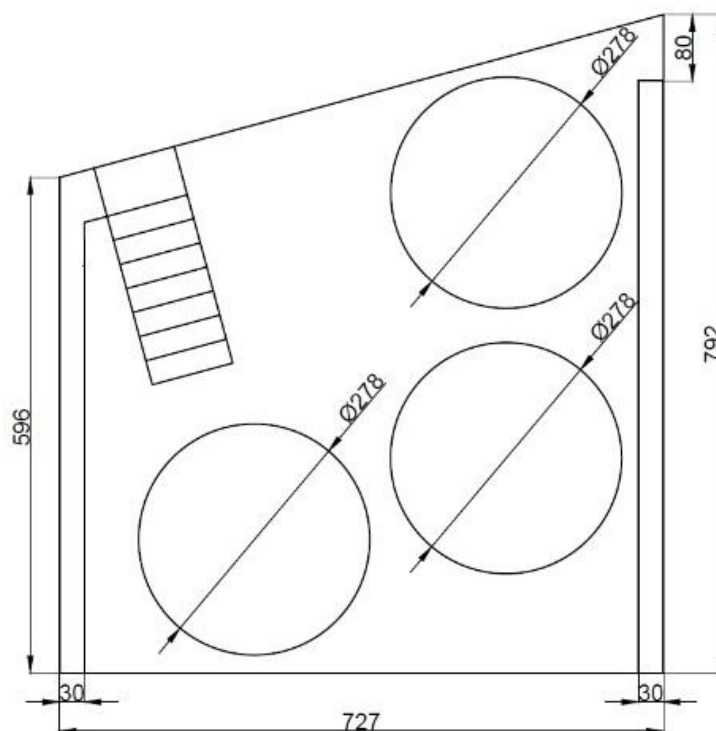
Fonte: Fortlev, 2023

Com relação aos métodos de dimensionamento simulados na seção 4.4, o método de Rippl apresentou valor muito elevado de capacidade, tornando a instalação do sistema inviável por falta de espaço no terreno disponível. Já o método prático Alemão apresentou um valor muito reduzido em relação à demanda por água não potável calculada, demonstrando que em muitos meses do ano o sistema pode ser ineficiente para suprir o consumo. Dessa forma, optou-se por atender ao método Azevedo Neto, que apresentou maior viabilidade de instalação e adequação à realidade do local estudado, bem como do espaço disponível para implantação e atendimento à demanda da residência.

Para atender ao volume final encontrado na seção 4.4.2, de 39.237,22 L, seriam necessários 2 reservatórios de 20.000 L cada ou 2 reservatórios de 15.000 L cada e 1 de 10.000 L. Essas opções seriam inviáveis, pois, devido à altura elevada dos reservatórios, a cota de topo destes ultrapassaria a cota das calhas do telhado, impedindo que a água chegasse aos reservatórios por ação da gravidade.

Dessa forma, optou-se pela instalação de 3 reservatórios de 10.000 L cada, totalizando 30.000 L de capacidade máxima para armazenamento, o que atende aos parâmetros de volumes máximo e mínimo adotados previamente. Essa opção, apesar de inferior ao valor dimensionado, foi a que apresentou o melhor custo-benefício e obteve maior otimização do espaço disponível, visto que cada reservatório possui 2,78 m de diâmetro e 1,93 m de altura. A Figura 18 a seguir apresenta a planta baixa do segundo pátio com a alocação dos reservatórios:

Figura 18 - Planta de alocação dos reservatórios no segundo pátio da área externa, com auxílio do software AutoCAD



Fonte: elaborado pela autora, 2024 (unidades em cm).

4.6 Análise do consumo real da república

Através de entrevista com as moradoras e acesso às contas de luz dos últimos 6 meses, foi possível estimar o consumo real da residência. Na Tabela 5 a seguir, a leitura é referente ao consumo acumulado da república desde a instalação dos hidrômetros em Ouro Preto, e o faturado é referente ao consumo mensal de água em metros cúbicos:

Tabela 5 - Consumo mensal num período de 6 meses

Mês/Ano	Leitura (m³)	Faturado (m³)
mar/24	1130	45
abr/24	1163	33
mai/24	1224	61
jun/24	1268	44
jul/24	1323	55
ago/24	1379	56

Fonte: elaborado pela autora (dados: faturas de água da república; Saneouro, 2024)

Através dos dados das faturas num período de 6 meses, obtém-se um consumo médio mensal de 49 m³ de água.

4.7 Análise do gasto real da república

De posse do consumo médio real calculado anteriormente, é possível calcular o valor da fatura real média da república, com base nas tarifas da Saneouro propostas na Tabela 2. Assim, tem-se:

- Para a faixa de 0 a 10 m³ de água consumidos: Tarifa de R\$ 1,789; limite da faixa atingido. $Total = 10 \times 1,789 = R\$ 17,89$
- Para a faixa de 10 a 15 m³ de água consumidos: Tarifa de R\$ 4,909; limite da faixa atingido. $Total = 5 \times 4,909 = R\$ 24,545$
- Para a faixa de 15 a 20 m³ de água consumidos: Tarifa de R\$ 10,644; limite da faixa atingido. $Total = 5 \times 10,644 = R\$ 53,22$
- Para a faixa de 20 a 40 m³ de água consumidos: Tarifa de R\$ 12,215; limite da faixa atingido. $Total = 20 \times 12,215 = R\$ 244,30$
- Para a faixa acima de 40 m³ de água consumidos: Tarifa de R\$ 19,627; 9 m³ excedentes. $Total = 9 \times 19,627 = R\$ 176,643$

- Somando os valores anteriores, tem-se um consumo de água igual a R\$ 516,60.

Utilizando as faixas de esgoto coletado (EDC), é possível fazer o cálculo da fatura de esgoto da seguinte forma:

- Para a faixa de 0 a 10 m³ esgoto coletado: Tarifa de R\$ 0,674; limite da faixa atingido. $Total = 10 \times 0,674 = R\$ 6,74$
- Para a faixa de 10 a 15 m³ de esgoto coletado: Tarifa de R\$ 1,853; limite da faixa atingido. $Total = 5 \times 1,853 = R\$ 9,265$
- Para a faixa de 15 a 20 m³ de esgoto coletado: Tarifa de R\$ 3,994; limite da faixa atingido. $Total = 5 \times 3,994 = R\$ 19,97$
- Para a faixa de 20 a 40 m³ de esgoto coletado: Tarifa de R\$ 4,536; limite da faixa atingido. $Total = 20 \times 4,536 = R\$ 90,72$
- Para a faixa acima de 40 m³ de esgoto coletado: Tarifa de R\$ 7,340; 9 m³ excedentes. $Total = 9 \times 7,340 = R\$ 66,06$
- Somando os valores anteriores, tem-se o consumo referente à coleta de esgoto igual a R\$ 192,76.

A seguir, é calculado o valor da fatura média mensal da residência. Utilizando a equação (14) e as tarifas fixas de água e esgoto apresentadas na Tabela 2, tem-se:

$$F_{total} = (21,971 + 516,60) + (8,295 + 192,76)$$

$$F_{total} = R\$ 739,63$$

4.8 Análise de viabilidade de implantação

Para avaliar a viabilidade de aplicação do SCAP, é necessário calcular o valor do investimento inicial e o tempo de retorno do valor investido em anos. Portanto, para um sistema com 3 reservatórios e 1 superior, filtro, bomba, tubos e conexões para a captação e distribuição, além da mão de obra para a instalação, tem-se o orçamento na Tabela 6 a seguir, totalizando R\$ 21.348,48:

Tabela 6 - Orçamento de materiais para instalação do sistema de captação

Material	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Reservatório (10.000 L)	3 un.	R\$ 6.099,00	R\$ 18.297,00
Reservatório superior (1.000 L)	1 un.	R\$ 389,90	R\$ 389,90
Tubo PVC (100mm)	10 un.	R\$ 45,90 para 3m	R\$ 459,00
Tê	2 un.	R\$ 12,80	R\$ 25,60
Joelho 90°	3 un.	R\$ 31,12	R\$ 93,36
Filtro	1un.	R\$ 151,62	R\$ 151,62
Bomba	1un.	R\$ 1.052,00	R\$ 1.052,00
Mão de obra	40 h	R\$ 22	R\$ 880,00

Fonte: elaborado pela autora (dados: Fortlev, Tigre, Leroy Merlin, Mérito Comercial).

Para estimar a média de gasto com a mão de obra, foram feitos 2 orçamentos diferentes com profissionais da cidade que prestam serviços de hidráulica e construção civil.

Como calculado anteriormente na seção 4.3, aproximadamente 57% dos gastos com água da república poderiam ser economizados com o uso de água da chuva em algumas atividades. De posse dessa informação, é possível calcular o valor mensal economizado com a instalação do SCAP através da equação a seguir:

$$C_{concessionária} = C_{real} - V_{não\ potável} \quad (16)$$

$C_{concessionária}$: consumo de água potável fornecida pela Saneouro (L)

C_{real} : consumo real médio da república (L), calculado na seção 4.6

$V_{não\ potável}$: calculado na seção 4.3

$$C_{concessionária} = 49.000 - 32.980$$

$$C_{concessionária} = 16.020\ L = 16,02m^3$$

Para calcular a nova fatura hipotética com a instalação do SCAP, será utilizada a equação (14). Assim:

$$F_{SCAP} = [21,971 + (\sum C \times t_{ia})] + [8,295 + (\sum C \times t_{ie})]$$

$$\sum C \times t_{ia} = (10 \times 1,789) + (5 \times 4,909) + (1,02 \times 10,644)$$

$$\sum C \times t_{ia} = R\$ 53,29$$

$$\sum C \times t_{ie} = (10 \times 0,674) + (5 \times 1,853) + (1,02 \times 3,994)$$

$$\sum C \times t_{ie} = R\$ 20,08$$

$$F_{SCAP} = 21,971 + 53,29 + 8,295 + 20,08$$

$$F_{SCAP} = R\$ 103,64$$

É possível constatar que a instalação do SCAP pode gerar uma economia na fatura mensal de 86%, o equivalente a 636 reais. Dessa forma, é possível calcular o tempo de retorno do investimento através da equação (15):

$$T_{recuperação} = \frac{21.348,48}{636}$$

$$T_{recuperação} = 34 \text{ meses} = 2 \text{ anos e } 10 \text{ meses}$$

Sendo assim, em menos de 3 anos o investimento terá sido recuperado e os gastos serão apenas para manutenção e limpeza do sistema, assim como para qualquer instalação hidráulica.

Para uma análise mais prática, é necessário observar que, idealmente, nos meses mais chuvosos a água coletada deve ser suficiente para abastecer os meses mais secos do ano. A Tabela 7 a seguir apresenta os meses em que o uso da água potável

foi necessário nas atividades para fins não potáveis, considerando a demanda dessas atividades e o volume disponível de captação:

Tabela 7 - Uso de água potável para atividades de fins não potáveis (em m³)

Mês	V _{não potável}	V _{dc}	Demanda por água potável	Volume armazenado acumulado	Uso de água potável	Economia de água potável
Janeiro	32,98	44,88	-11,90	11,90	0,00	32,98
Fevereiro	32,98	28,14	4,84	7,06	0,00	32,98
Março	32,98	35,04	-2,06	9,12	0,00	32,98
Abril	32,98	14,50	18,48	0,00	9,36	23,62
Mai	32,98	7,08	25,90	0,00	25,90	7,08
Junho	32,98	2,76	30,22	0,00	30,22	2,76
Julho	32,98	1,90	31,08	0,00	31,08	1,90
Agosto	32,98	3,63	29,35	0,00	29,35	3,63
Setembro	32,98	12,77	20,21	0,00	20,21	12,77
Outubro	32,98	20,37	12,61	0,00	12,61	20,37
Novembro	32,98	45,05	-12,07	12,07	0,00	32,98
Dezembro	32,98	53,17	-20,19	30,00	0,00	32,98

Fonte: Elaborado pela autora

Somando-se os dados obtidos na coluna de economia de água potável, constata-se uma economia anual de 237 m³, o equivalente a 40% do consumo real da república. Utilizando os dados da tabela anterior, tem-se os valores das faturas mensais de água nos meses em que o SCAP não foi suficiente para atender integralmente a demanda por água não potável. Assim, utilizando a equação (14), foram obtidos os seguintes valores:

$$C_{mensal} = 49 - \text{Economia de água potável} \quad (17)$$

- Abril

$$C_{mensal} = 49 - 23,62 = 25,38 \text{ m}^3 = 25.380 \text{ L}$$

$$F_{mensal} = \text{R\$ } 252,02$$

- Maio

$$C_{mensal} = 49 - 7,08 = 41,92 \text{ m}^3 = 41.920 \text{ L}$$

$$F_{mensal} = \text{R\$ } 548,70$$

- Junho

$$C_{mensal} = 49 - 2,76 = 46,24 \text{ m}^3 = 46.240 \text{ L}$$

$$F_{mensal} = \text{R\$ } 665,20$$

- Julho

$$C_{mensal} = 49 - 1,90 = 47,10 \text{ m}^3 = 47.100 \text{ L}$$

$$F_{mensal} = \text{R\$ } 688,39$$

- Agosto

$$C_{mensal} = 49 - 3,63 = 45,37 \text{ m}^3 = 45.370 \text{ L}$$

$$F_{mensal} = \text{R\$ } 641,73$$

- Setembro

$$C_{mensal} = 49 - 12,77 = 36,23 \text{ m}^3 = 36.230 \text{ L}$$

$$F_{mensal} = \text{R\$ } 433,76$$

- Outubro

$$C_{mensal} = 49 - 20,37 = 28,63 \text{ m}^3 = 28.630 \text{ L}$$

$$F_{mensal} = \text{R\$ } 306,46$$

Fazendo uma análise comparativa dos custos anuais da residência com água potável antes e depois da instalação do SCAP, tem-se:

- Custos anuais sem o SCAP:

$$Custo_{anual} = F_{total} \times 12 = 739,63 \times 12$$

$$Custo_{anual} = \text{R\$ } 8.875,56$$

- Custos anuais com o SCAP: somatório das faturas calculadas de cada mês

$$Custo_{anual} = R\$ 4.054,43$$

Resultando em uma economia financeira anual de R\$ 4.821,13, o equivalente a 54,32% do valor pago sem o uso do SCAP. Logo, o novo tempo de recuperação do investimento será de:

$$T_{recuperação} = \frac{21.348,48}{4821,13}$$

$$T_{recuperação} = 4,5 \text{ anos}$$

É importante salientar que uma economia anual de 40% do consumo de água potável na residência com a instalação do SCAP resultou em uma economia financeira anual ainda maior, de aproximadamente 54%. Isso ocorre porque, para o cálculo das faturas mensais durante todo o ano, as tarifas de água e esgoto fornecidas pela concessionária também são consideradas. Dessa forma, mesmo em regiões com índices pluviométricos e áreas de captação semelhantes, a mesma redução no consumo de água potável pode gerar uma economia financeira diferente, a depender da variação das tarifas vigentes em cada cidade analisada.

De acordo com dados do Painel Saneamento Brasil (2024), em 2022, a tarifa média de água em Ouro Preto foi de 3,09 R\$/m³. Em outras cidades da região, como Itabirito e Congonhas, as tarifas médias foram de 4,73 R\$/m³ e 6,14 R\$/m³. De posse dessas informações, é possível analisar a variação das tarifas entre as cidades citadas e perceber que a mesma redução do consumo de água observada em Ouro Preto tende a gerar uma economia financeira ainda maior em Itabirito e Congonhas, uma vez que as tarifas vigentes nesses locais são mais elevadas. Dessa forma, é possível concluir que o uso do SCAP nessas cidades deve ser ainda mais eficiente em termos de economia nas faturas mensais.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica e econômica da instalação de um SCAP em uma residência de Ouro Preto, visando a economia de recurso hídrico potável e economia financeira. O fomento para execução deste trabalho originou na percepção da necessidade de busca por alternativas sustentáveis e econômicas de uso da água, visto que este recurso é finito e pode chegar a um cenário de escassez nas próximas décadas.

Devido às características climatológicas da cidade de Ouro Preto, o local apresenta um alto índice anual pluviométrico, apesar da distribuição irregular das chuvas ao longo do ano. Somado a isso, tem-se o fato de a residência possuir uma área de captação relativamente grande, o que impacta positivamente no volume disponível para captação.

A opção por 3 reservatórios de 10.000L, somando 30.000 L de captação se mostrou eficiente para armazenar toda a água precipitada em praticamente todos os meses do ano (exceto em dezembro, em que o reservatório atingiria sua capacidade máxima e seriam extravasados pouco mais de 3 m³ de água). Além disso, a capacidade de 30.000 L de armazenamento escolhida se mostrou inferior aos valores encontrados pelos métodos Azevedo Neto e Rippl e superior aos valores encontrados pelo método Prático Alemão, respeitando os parâmetros de dimensionamentos máximo e mínimo adotados.

Considerando os fatores de viabilidade econômica, o SCAP estudado demonstrou um potencial de economia de 237 m³ anuais de água potável, o equivalente a 40% do consumo real da residência. Com relação às faturas da concessionária Saneouro, a economia se mostrou ainda maior: 4.821,13 reais anuais, o equivalente a pouco mais de 54% do valor pago anualmente sem a instalação do sistema. O tempo de recuperação do investimento de 4,5 anos também se mostrou relativamente curto, tendo em vista o alto valor investido inicialmente.

Portanto, o desempenho do SCAP, bem como a viabilidade técnica e econômica com a instalação se mostraram satisfatórios para o presente estudo de caso; promovendo uma utilização mais otimizada, consciente e sustentável de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 10.844: **Instalações prediais de águas pluviais**. 1989.

ABNT. NBR 15527: **Água da chuva**. 2007.

ABNT. NBR 15527: **Aproveitamento de Águas de Chuvas de Coberturas para Fins Não Potáveis**. 2019 ANDRADE NETO, Cícero Onofre de. **Aproveitamento imediato da água da chuva**. 2013.

ANA. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2024. Disponível em: <<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>>. Acesso em: 28 agosto 2024.

ASA, Articulação Seminário Brasileiro. **Ações – Cisternas nas escolas**. 2024. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/acoes/cisternas-nas-escolas#categoria_img>. Acesso em: 17 agosto 2024.

ASA, Articulação Seminário Brasileiro. **Ações – P1+2**. 2024. Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/acoes/p1-2#categoria_img>. Acesso em: 17 agosto 2024.

ASA, Articulação Seminário Brasileiro. **Programa um milhão de cisternas**. 2024. Disponível em: <<https://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>>. Acesso em: 17 agosto 2024.

Bombas: guia básico / Eletrobrás [et al.]. Brasília: IEL/NC, 2009.

BRASIL. Decreto nº. 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. **Presidência da República**, 1934.

BRASIL. Lei nº 13.844, de 18 de junho de 2019. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios; altera as Leis nos 13.334, de 13 de setembro de 2016, 9.069, de 29 de junho de 1995, 11.457, de 16 de março de 2007, 9.984, de 17 de julho de 2000, 9.433, de 8 de janeiro de 1997, 8.001, de 13 de março de 1990, 11.952, de 25 de junho de 2009, 10.559, de 13 de novembro de 2002,

11.440, de 29 de dezembro de 2006, 9.613, de 3 de março de 1998, 11.473, de 10 de maio de 2007, e 13 ... **Diário Oficial da União**, 2019.

BRASIL, Leis. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art, v. 21, 1997.**

CLIMA TEMPO. **Climatologia em Ouro Preto, BR**. 2024. Disponível em: <<https://www.climatempo.com.br/climatologia/170/ouropreto-mg>>. Acesso em: 19 setembro 2024.

CLIMATE DATA. **Clima Ouro Preto**. 2024. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/ouro-preto-765135/#climate-graph>>. Acesso em: 08 outubro 2024.

CONSELHO NACIONAL DAS ÁGUAS. **Água no Planeta Terra**. 2024. Disponível em <<https://conselhonacionaldaagua.weebly.com/aacutegua-no-planeta-terra.html>> Acesso em: 13 agosto 2024.

DE AMORIM, Simar Vieira; DE ANDRADE PEREIRA, Daniel José. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial**. Ambiente Construído, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

FONSECA, Vitor Luís Amorim; DE MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins. **Estudo comparativo entre métodos de dimensionamento para reservatórios de sistemas de aproveitamento de águas pluviais**. Holos Environment, v. 19, n. 2, p. 287-303, 2019.

FORTLEV. **Catálogo de produtos**. 2024. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Catalogo_Produtos_Fortlev_MINI.pdf>. Acesso em: 08 outubro 2024.

FORTLEV. **Tanque de Polietileno 20.000L**. 2024. Disponível em: <<https://www.fortlev.com.br/produtos/reservatorios/tanque-de-polietileno-20000l/#produtoEspecificacoes>>. Acesso em: 08 outubro 2024.

FURUMAI, Hiroaki et al. Recent application of rainwater storage and harvesting in Japan. In: **The 3rd RWHM Workshop**. 2008.

GNADLINGER, Johann. **Água de chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: aspectos históricos, biofísicos, técnicos, econômicos e sociopolíticos**. 2015.

GOMES, Uende Aparecida Figueiredo et al. A captação de água de chuva no Brasil: novos aportes a partir de um olhar internacional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 1, p. 7-16, 2014.

GONÇALVES, G. P.; SANTO, M. F. F.; NERY, N. L.; ROSTAGNO, P. V. **Projeto de captação de águas pluviais para reutilização em uma residência unifamiliar no município de Guaçuí/ES**. Conjecturas, v. 22, n. 16, p. 547-564, 2022.

MELO, Liliam Ferreira Cunha de. **Estudo de viabilidade de um sistema de aproveitamento de água de chuva no Campus do Instituto Federal de Minas Gerais em Ouro Preto**. 2022.

MIERZWA, José Carlos et al. **Águas Pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado**. Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 4, p. 29-37, 2007.

MINAS GERAIS (Estado). Lei N°18.309, de 03 de agosto de 2009. **Estabelece normas relativas aos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, cria a agência reguladora de serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário do estado de Minas Gerais – ARSAE - MG e dá outras providências**. Minas Gerais Diário do Executivo, 2009.

MINAS GERAIS (Estado). Lei N°23.102, de 11 de setembro de 2018. **Institui a política estadual de incentivo e apoio à construção de cisternas nas zonas rurais do Estado.** Minas Gerais Diário do Executivo, 2018.

MINAS GERAIS (Estado). Lei N°23.371, de 09 de agosto de 2019. **Cria o Selo Azul, a ser concedido ao município que reduzir o consumo de água e o índice de perdas no sistema de abastecimento de água.** Minas Gerais Diário do Executivo, 2019.

MINAS GERAIS (Estado). Lei N°23.491, de 13 de dezembro de 2019. **Institui a Semana Estadual de Conscientização sobre o Uso Racional da Água.** Minas Gerais Diário do Executivo, 2019.

MINEIRÃO. **Sustentabilidade, um verdadeiro gigante pela natureza.** Disponível em: <<https://mineirao.com.br/sustentabilidade>>. Acesso em: 25 agosto 2024.

MORAES, Beatriz Stoll; DA SILVA, Tomaz Mattos; SANT'ANNA, Samuel. **Implicação da implantação da Lei Federal nº 11.445/2007 no processo de tratamento de água potável.**, p. 59.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Agência da ONU lança Relatório Mundial sobre o desenvolvimento dos Recursos Hídricos.** 2021. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/123077-ag%C3%A7%C3%A2ncias-da-onu-lan%C3%A7am-relat%C3%B3rio-mundial-sobre-o-desenvolvimento-dos-recursos-h%C3%ADdricos>>. Acesso em: 13 agosto 2024.

OURO PRETO (Município). Decreto N° 6.398 de, 16 de fevereiro de 2022. **Regulamenta a Lei Complementar Municipal nº 113, de 27 de dezembro de 2011, estabelecendo procedimentos para a isenção parcial de IPTU e TCR, nos termos do Programa “Quem preserva paga menos”.** Diário Oficial do Município de Ouro Preto, 2022.

OURO PRETO (Município). Lei Complementar N° 113 de, 27 de dezembro de 2011. **Cria o Programa “Quem preserva paga menos” e modifica o último quadro do**

Anexo 1 da Lei nº 535/2009, que institui o Imposto Sobre a Propriedade Territorial e Predial Urbana - IPTU. Diário Oficial do Município de Ouro Preto, 2011.

PAINEL SANEAMENTO BRASIL. **Município de Congonhas.** 2024. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br/explore/localidade?SE%5BI%5D=311800>>.

Acesso em: 02 outubro 2024.

PAINEL SANEAMENTO BRASIL. **Município de Itabirito.** 2024. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br/explore/localidade?SE%5BI%5D=313190>>.

Acesso em: 02 outubro 2024.

PAINEL SANEAMENTO BRASIL. **Município de Ouro Preto.** 2024. Disponível em: <<https://www.painelsaneamento.org.br/explore/localidade?SE%5BI%5D=314610>>.

Acesso em: 02 outubro 2024.

REBOUÇAS, C. A. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez.** Revista Bahia Análise & Dados, Salvador, v.13, nº especial, p. 341-345, 2003.

SACADURA, Francisco Oliveira Martins Oom. **Análise de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios.** 2011. Dissertação de Mestrado. Universidade NOVA de Lisboa (Portugal).

SANEOURO. **Legislação e tarifas.** 2024. Disponível em: <<https://www.saneouro.com.br/legislacao-e-tarifas/>>. Acesso em: 22 setembro 2024.

SECRETARIA MUNICIPAL DE CULTURA E TURISMO. **Dados Geográficos.** 2024. Disponível em: <<https://www.ouopreto.mg.gov.br/turismo/dados-geograficos>>.

Acesso em: 10 setembro 2024.

SNIS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto.** 2021.

SNIS. **Painel Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento 2022.** 2023.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva.** São Paulo: Navegar, p. 355-359, 2003.

UNESCO. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021: O valor da água: dados e fatos.** 2021.

VIEIRA, Patrícia Albuquerque. O processo de universalização do acesso à água e ao saneamento básico no Brasil (ODS nº 06): uma análise à luz da Lei nº 14.026/2020. In: **No âmbito internacional, a Assembleia Geral das Nações Unidas instituiu, em 1972, a data de 5 de junho como o Dia Mundial do Meio Ambiente. A criação da data marcou a abertura da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, que ficou conhecida como Conferência de Estocolmo. Já na esfera local, a instituição da Semana Internacional do Meio Ambiente.** p. 309.

XAVIER, Rogério Pereira et al. **Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano.** 2010.