

APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS: proposta de aplicação em residência unifamiliar em Franca-SP

João Pedro de Souza Teixeira¹
Rodrigo Armando Carrijo²
Prof. Dr. Danilo Malta Ferreira³

Resumo: A água, a cada dia que passa se torna um recurso cada vez mais escasso, principalmente em regiões onde a disponibilidade é reduzida. Um recurso natural que está ligado estritamente com a vida e um dos temas mais comentados devido a sua importância é o racionamento da água. Desta forma, surgem as fontes alternativas para o abastecimento de pontos que não necessita de água potável, como por exemplo, o aproveitamento da água da chuva. Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade da implantação de um sistema de captação da água chuva em uma residência no município de Franca/SP. Primeiramente, foram apresentados dados do ciclo da água, recursos hídricos, desperdício da água. Após realizou-se um estudo hidrológico e do caso a ser aplicado, com base em séries históricas, com o intuito de caracterizar o regime de precipitações e respectivas intensidades. Determinaram-se as áreas de captação, dimensionamento de condutores horizontais e verticais e o dimensionamento dos reservatórios. Com o dimensionamento de todo o sistema de captação pluvial foi possível mostrar que a implantação do sistema proposto é simples e funcional.

Palavras-chave: Águas Pluviais. Aproveitamento de água não potável. Captação de água. Sustentabilidade.

1 Introdução

Na atualidade, a sociedade vem se preocupando cada vez mais com o meio ambiente e assuntos sobre ele, como: desmatamento, extinção de espécies, mudanças climáticas e o uso não sustentável dos recursos naturais, dentre outros. Recurso natural imprescindível para a sobrevivência humana, a água está ameaçada de esgotamento antes do imaginado e a crise hídrica provoca debates constantes no Brasil e no mundo. O fato de ser um recurso renovável não a torna inesgotável.

Segundo a Lei das Águas (nº 9433/1997) a água é considerada um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico,

¹ Engenheiro Civil recém graduado pelo *Uni-Facef Centro Universitário Municipal de Franca*.

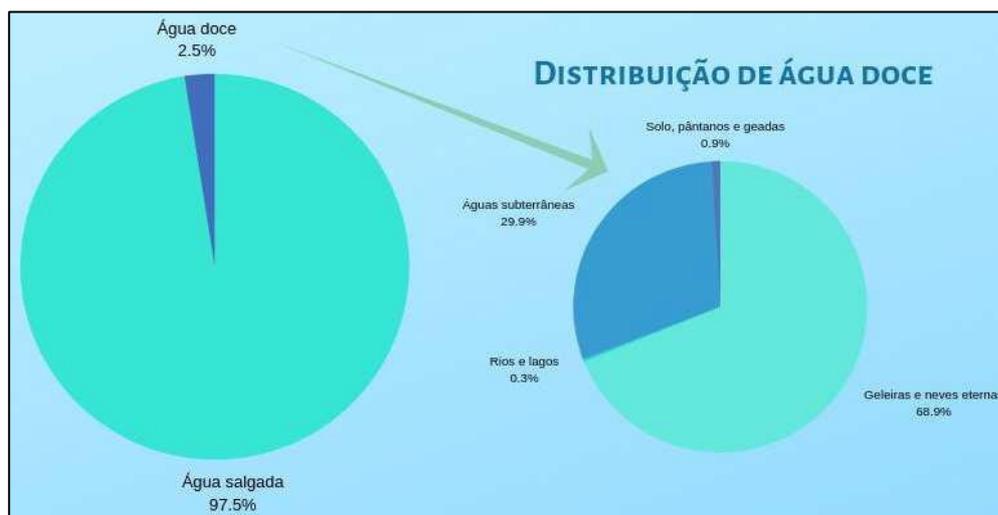
² Engenheiro Civil recém graduado pelo *Uni-Facef Centro Universitário Municipal de Franca*.

³ Professor Doutor do Curso de Engenharia Civil do *Uni-Facef Centro Universitário Municipal de Franca*.

sendo então um recurso insubstituível e imprescindível no desenvolvimento tecnológico e econômico.

Apesar de o Planeta Terra possuir a maior parte de sua superfície coberta por água, a disponibilidade de água doce para o consumo humano se torna alarmante. Segundo Tomaz (2011), cerca de 97,5% da água no planeta é salgada e a água doce corresponde a 2,5%, distribuída da seguinte maneira: 68,9% da água doce está nas calotas polares e 29,9% está presente nos continentes no subterrâneo de difícil acesso, onde aproximadamente 0,266% da água dos continentes está diretamente acessível ao uso humano em forma de lagos, reservatórios e rios, o que corresponde a 0,007% do total de água na terra como se pode observar na Figura 1.

Figura 1 - Distribuição de água no planeta Terra.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2018.

O Brasil é a maior reserva hidrológica do mundo, com 12% de toda a água doce disponível. No país a água é mal distribuída, onde se encontra maior quantidade de água doce, ocorre menor densidade populacional. Na região norte está a bacia amazônica, com aproximadamente 70% do total nacional de água, e sua população é menor que 8% do total da população brasileira. Já no Sudeste, com a maior porcentagem de população do país, aproximadamente 43%, conta com apenas 6% dos recursos hídricos disponíveis. No Brasil, apesar da abundância dos recursos hídricos, o acesso não chega com a mesma qualidade e quantidade para todos. Na Tabela 1 é possível observar a disponibilidade dos recursos hídricos por região do país.

Tabela 1 - Distribuição dos recursos hídricos e densidade demográfica do Brasil

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL		
REGIÃO	PERCENTUAL DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA	PERCENTUAL DA POPULAÇÃO
NORTE	68,50	7,92
NORDESTE	3,30	27,77
SUDESTE	6,00	42,61
SUL	6,50	14,67
CENTRO-OESTE	15,70	7,03
TOTAL	100,00	100,00

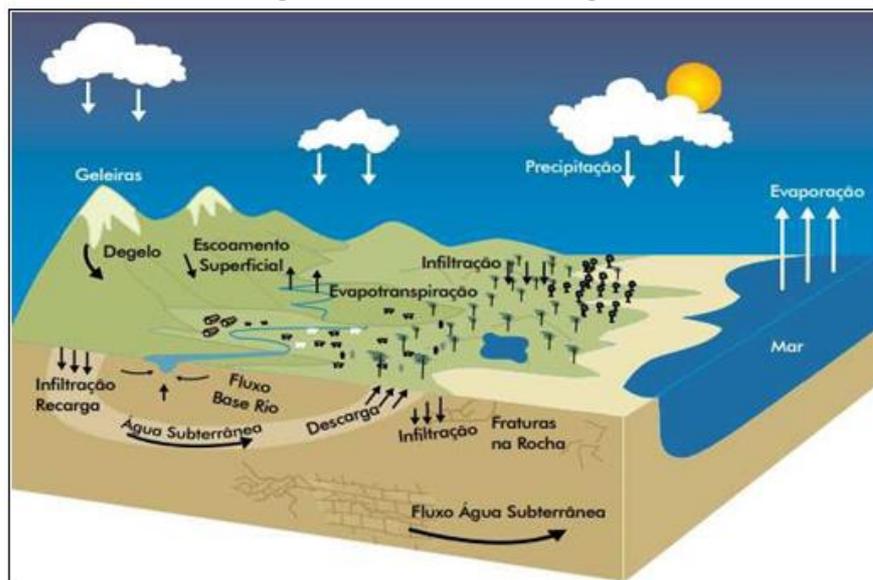
Fonte: Mundo Educação, 2019

Como objetivo de mostrar que por mais que a água seja um recurso renovável, é importante conhecer seu ciclo e sua disponibilidade para assim poder conscientizar as pessoas para o uso racional desse recurso natural renovável, mas, finito. Também analisar o aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações residenciais, visando os benefícios que ela traz. Incentivar futuros empreendimentos a considerarem um sistema de aproveitamento de água pluvial desde o projeto, visando economia e estética para a obra.

2 Recursos Hídricos

O ciclo da água é um movimento contínuo, nutrido pela força da gravidade e energia do sol. Conforme consulta ao site do Ministério do Meio Ambiente as nuvens formadas na atmosfera são carregadas e podem precipitar na forma de chuva, granizo, neve ou orvalho. Após a precipitação a água pode seguir diversos caminhos: congelar nos cumes de montanhas e geleiras; evaporar e retornar à atmosfera; escoar na superfície quando o volume de água precipitado é maior que a capacidade de absorção do solo; ou infiltrar e percolar no solo e rochas, podendo ressurgir como nascentes, ou alimentar rios, ou então formar os aquíferos. A Figura 2 mostra todas as etapas do ciclo hidrológico.

Figura 2 – Ciclo Hidrológico.



Fonte: MMA, 2007.

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas define água subterrânea como a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros das rochas sedimentares, e que ajuda na manutenção da umidade do solo, e fluxo de rios e lagos. (ABAS, 2019)

Aquíferos são definidos como uma formação geológica do subsolo, formados por rochas permeáveis ou fraturadas, que armazenam água, funcionando como uma 'caixa d'água' que alimenta os rios.

A quantidade de água que infiltra para auxiliar na recarga do aquífero depende de inúmeros fatores, como: porosidade do solo (solos argilosos apresentam baixa permeabilidade, dificultando a infiltração); cobertura vegetal, (aumenta a permeabilidade do solo); inclinação do terreno, (escoamento maior quando em declividades acentuados); e tipo de chuva, (chuvas finas e demoradas permitem maior infiltração).

Recursos hídricos englobam as águas superficiais e subterrâneas, em determinadas regiões ou bacias, que estão disponíveis para qualquer tipo de uso.

A água por ser um recurso renovável, subentende-se que sempre estará disponível para a utilização do Homem. No entanto, como a população humana praticamente triplicou no último século (BBC, 2013), a poluição, contaminação, desperdício aumentaram, o consumo tem excedido a renovação da

mesma. A produção de alimentos e a criação de animais também aumentaram, levando a uma maior demanda de água.

O manejo sustentável dos recursos hídricos se torna importante a partir do momento em que o stress hídrico foi estabelecido, compreendendo ações que visam garantir a qualidade e quantidade de água dentro de determinada região ou bacia hidrográfica. A maioria dos países já adotaram leis das águas, que faz com que relevem a importância da sustentabilidade, tornando o manuseio irresponsável de águas um crime ambiental. No Brasil, conhecida como a Lei das Águas.

Torna-se relevante a gestão da distribuição dos recursos hídricos em função dos seus diferentes tipos de uso como, por exemplo, irrigação, abastecimento, energia hidráulica, controle de enchentes, piscicultura, lazer, entre outros, levando em conta as diferentes instituições envolvidas e também diferentes dimensões de conhecimento sobre o assunto.

É com este conceito em que encontramos uma contradição no Brasil, visto que, conforme a Tabela 1 – Distribuição de Águas no Brasil, é possível verificar o quão os recursos hídricos são mal distribuídos conforme a densidade populacional de cada região.

2.1 Recursos hídricos na cidade de Franca

A bacia do rio Sapucaí Mirim, onde está localizada a cidade de Franca, nasce em Minas Gerais, entra em São Paulo, leste para oeste, na região da Mogiana, percorre a zona fértil entre Batatais e Franca e desemboca no Rio Grande.

Esta bacia é a responsável pelo abastecimento de Franca localizada na região nordeste do estado de São Paulo. A cidade formada por três colinas, cuja rede hidrográfica formada pelos cursos d'água do Córrego dos Bagres, Córrego do Cubatão estes que além de dividir a cidade nas 3 colinas, daí o significado do nome, desaguam no rio Sapucaí-Mirim.

Franca possui aproximadamente 350 mil habitantes que utilizam destes recursos. É a cidade mais bem equipada e número 1 em saneamento básico no Brasil entre as cidades com população com mais de 100 mil habitantes.

2.2 Desperdício e perdas de água potável

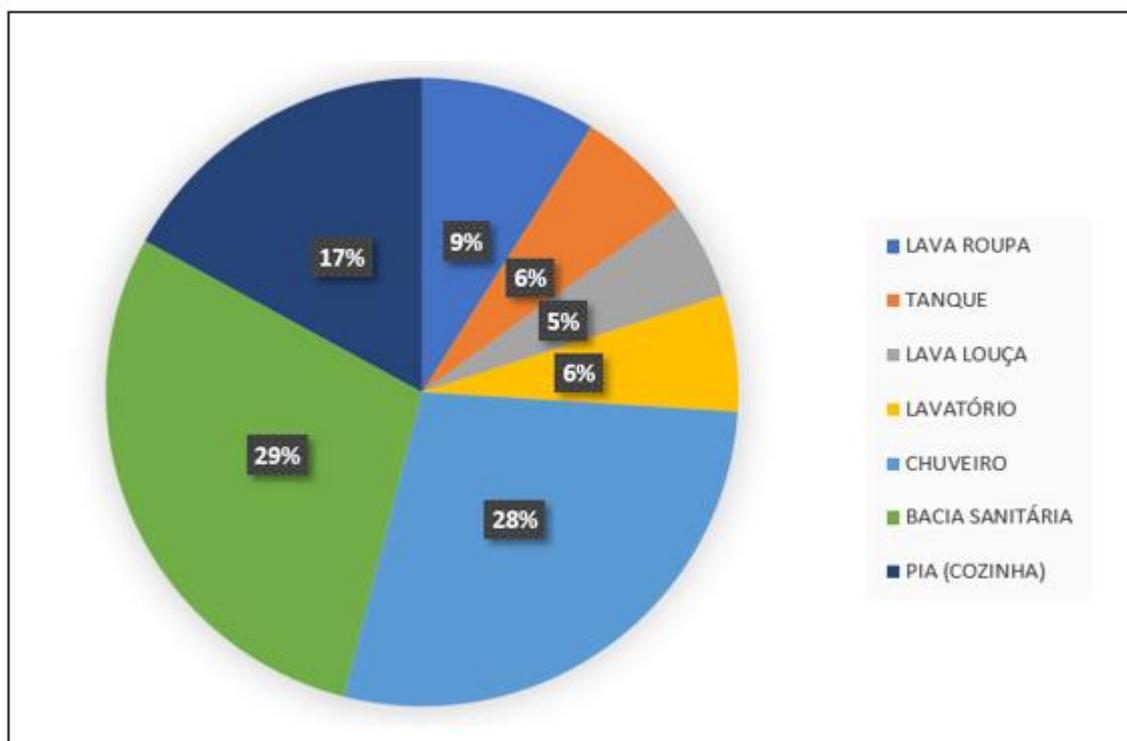
Os recursos hídricos são desperdiçados em todo o mundo, de diferentes formas, principalmente nos grandes centros urbanos e em atividades de irrigação de terra.

A água potável é um recurso natural, cada vez mais caro e escasso, por isso há grande preocupação com a sua conservação. Alguns fatores que contribuem para o desperdício de água são vazamentos nas instalações, e o desconhecimento das pessoas quanto às perdas geradas pelo mau uso de equipamentos e aparelhos hidráulicos em suas residências. (MARINOSKI, 2007)

As perdas de água nos sistemas de abastecimentos estão ligadas diretamente às condições de infraestrutura. Não existe perda “zero”, todos os sistemas de abastecimento do mundo, por melhor que seja a infraestrutura e manutenção, apresentam perdas de água. (SABESP, 2017) A diferença entre volume total de água produzido e a soma dos volumes medidos nos hidrômetros é a perda de água nos sistemas de abastecimento. Podem ser divididas em duas: perdas reais ou físicas, e perdas não físicas ou aparentes. Perdas físicas estão relacionadas à perda de água no percurso, desde as estações de tratamento até as residências. Ocorrem, principalmente, devido ao desgaste das tubulações. Perdas aparentes são os volumes não contabilizados, principalmente devido às irregularidades, como fraudes e ligações clandestinas (“gatos”). (SABESP, 2017)

É importante identificar itens em uma residência que utilizam água potável para serviços, como cita RAPOPORT (2004): bacias sanitárias 29%, chuveiros 28%, pias (cozinha) 17%, máquinas de lavar roupa 9%, tanque 6%, lava louças 5%, lavatório 6%. Alguns destes podendo ser substituídos por águas não potáveis, assim como métodos de lavar garagens, bacia sanitária, calçadas e outros ambientes do imóvel. Como mostra figura 3.

Figura 3: Utilização de água em atividades domiciliares.



Fonte: Rapport, 2004.

3 Sistema de aproveitamento da água de chuva

Para projetar um sistema de aproveitamento pluvial devem-se considerar as condições ambientais locais, clima, fatores econômicos, finalidade e usos da água, não esquecendo os fatores essenciais, precipitação, área de captação e demanda de água. (MARINOSKI, 2007)

No Brasil foi criada a NBR 15.527 de 24 de setembro de 2007, onde, respeitando as exigências das normas: NBR 5.626; NBR 10.844; NBR 12.213; NBR 12.214; NBR 12.217, foi possível padronizar o aproveitamento de água da chuva.

Esse sistema pode ser aplicado para atividades que não requeiram uso de água potável, por exemplo, lavagem de automóveis, sistemas de ar condicionado, controle de incêndio, lavagem de pisos, descarga de bacias sanitárias, e ainda irrigação de jardins. Nas indústrias e comércios pode ser utilizada para resfriamento de telhado e máquinas, climatização interna, entre outros. (MAY & PRADO, 2004)

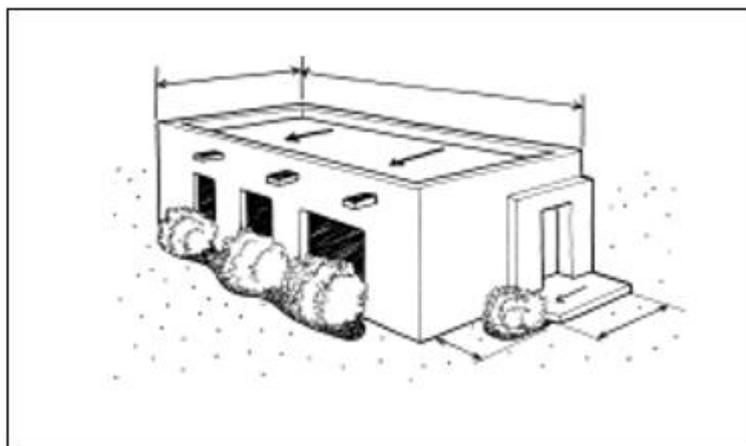
Para que um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva seja eficiente, alguns componentes básicos se fazem necessários. Segundo May (2004) esses componentes são: área de coleta, condutores, armazenamento e tratamento.

A quantidade de água de chuva que pode ser armazenada depende de três fatores: área de coleta, precipitação do local, e coeficiente de *runoff*. Tomaz (2009) define coeficiente de *runoff* como 'quociente entre a água que escoa superficialmente pelo total da água precipitada'.

Áreas de coleta da água de chuva podem ser telhados e lajes da edificação, e ainda, dependendo do uso e tratamento aplicados, superfícies impermeabilizadas, como pátios e estacionamentos. (MAY, 2004).

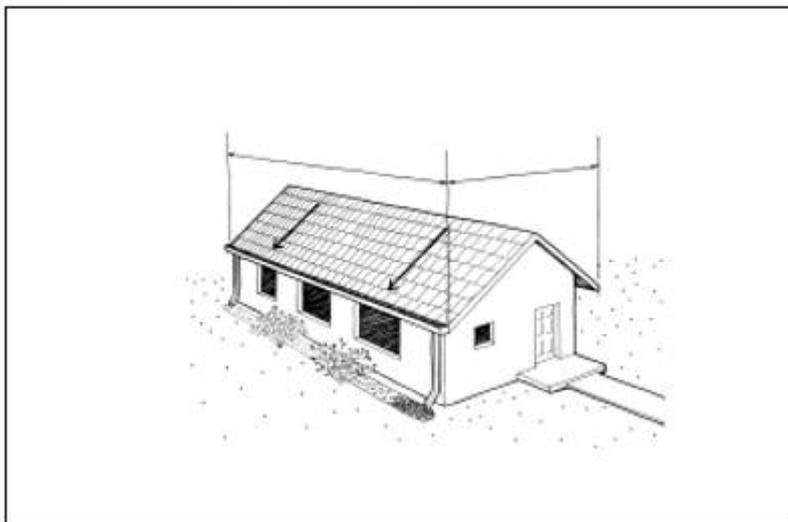
As Figuras 4, 5 e 6 mostram captação em laje, em telhado e em pátio, respectivamente.

Figura 4 – Captação de água de chuva em laje.



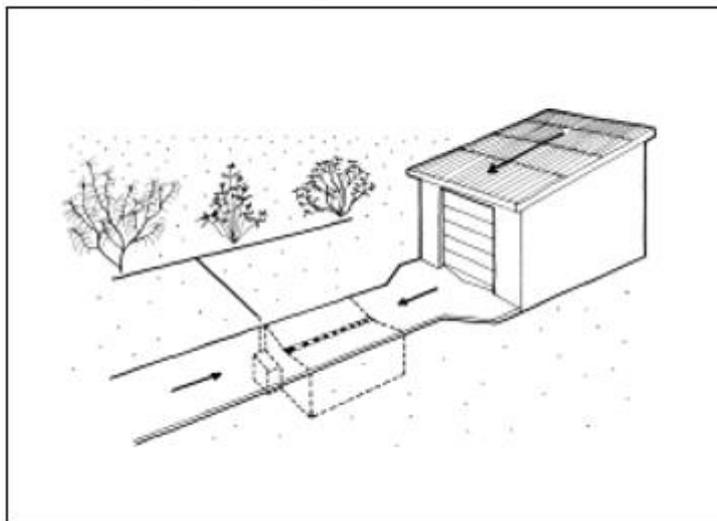
Fonte: Waterfall, 2002.

Figura 5 – Captação de água de chuva em telhado.



Fonte: Waterfall, 2002.

Figura 6 – Captação de água de chuva em telhado e pátio.



Fonte: Waterfall, 2002.

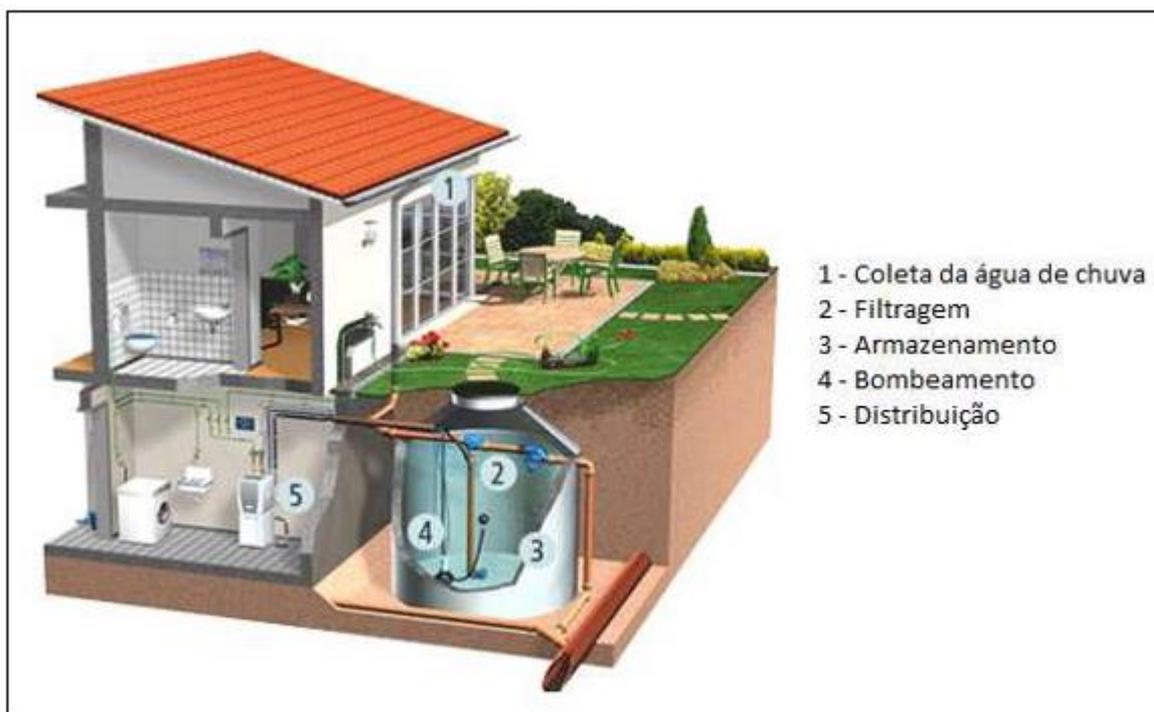
Condutores horizontais e verticais levam a água do telhado até o reservatório de armazenamento. O sistema de coleta pluvial deve conter um sistema de peneiras para retirada de sujeiras, como folhas e galhos, dos condutores (calhas). (MAY, 2004)

O sistema de armazenamento é composto por reservatórios que vão conter a água de chuva. O reservatório é a etapa mais cara do sistema de coleta, por isso deve se tomar cuidado redobrado para que a implantação do sistema não fique inviável. Podem ser utilizadas duas maneiras para dimensionamento do reservatório: quantidade de água de chuva que poderia ser coletada ou demanda calculada com grau de confiabilidade elevado. (MAY & PRADO, 2004)

O tratamento da água coletada depende da qualidade dessa água e do seu uso final. Podem ser utilizados tratamentos simples como sedimentação natural ou filtração simples, ou, se necessário, tratamentos complexos como osmose reversa. (MAY, 2004)

Marinoski (2007) descreve o funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva. A água que cai sobre os telhados ou lajes é conduzida através de calhas (condutores horizontais e verticais) até o reservatório de armazenamento. Pode passar por equipamentos de filtragem e dispositivo de descarte de primeiras águas de chuva. Após filtragem a água é armazenada em reservatório e bombeada (caso necessário) para ser distribuída para uso não potável. A Figura 7 mostra o esquema mencionado.

Figura 7 – Esquema de funcionamento de sistema de aproveitamento de água de chuva.



Fonte: 3P Technik, 2018.

Os materiais usados no sistema de aproveitamento de água de chuva, segundo Macomber (2001), devem ser materiais inertes e atóxicos, que não soltem toxinas quando em contato com essa água.

Os materiais mais comuns para a área de captação são metais galvanizados pintados com tintas não tóxicas, concreto, cerâmica, policarbonato e fibra de vidro. As calhas condutoras também devem ser feitas de materiais inertes,

como alumínio, PVC ou outros plásticos, evitando assim, que partículas tóxicas sejam carregadas até os tanques reservatórios. (MACOMBER, 2001)

3.1 Qualidade da água pluvial

Registros históricos mostram as águas de chuva sendo utilizadas há milhares de anos. Existem inúmeros reservatórios escavados em rochas, datados de 3000 a.C. que aproveitavam água de chuva para consumo humano. Há aproximadamente 2000 a.C., na ilha de Creta, era aproveitada água de chuva para descarga em bacias sanitárias. Um dos exemplos mais conhecidos é a fortaleza de Masada, que conta com dez reservatórios escavados em rocha, com capacidade total de 40 milhões de litros. Civilizações como Incas, Maias, Astecas, e povos da Mesopotâmia utilizavam águas de chuva. No México existem reservatórios, ainda em uso, que datam de antes da chegada de Cristovão Colombo à América. (TOMAZ, 2015).

Antes de atingir o solo a água de chuva varia sua composição dependendo de diversos fatores, como localização geográfica do ponto de coleta, condições meteorológicas, presença ou não de vegetação e também, presença de carga poluidora. Elementos de origem terrestre contendo sílica, alumínio e ferro, e os de origem biológica com nitrogênio, fósforo e enxofre, podem estar presentes na composição da chuva. Em grandes centros urbanos e industriais ocorrem alterações na concentração da água de chuva devido a poluentes no ar, como dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x), que diminuem o pH da água da chuva, formando chuvas ácidas. (TOMAZ, 2015)

Para o aproveitamento da água de chuva é necessário haver uma superfície mediadora, onde a água possa escorrer para ser coletado, passar por tratamento e ser armazenada e consumida. Essa superfície pode ser o telhado, laje, pátios, ou até o próprio solo.

Tomaz (2015) cita alguns contaminantes predominantes nesta etapa de escoamento sobre a superfície; os mais comuns são fezes de pássaros, ratos e outros animais, poeira, folhas de árvores, tintas, e até o revestimento do telhado. Esses poluentes podem trazer sérios problemas de saúde, por isso é recomendado que se descarte a primeira água (água de lavagem do telhado).

Um estudo conduzido por May e Prado (2004) analisou a qualidade da água de chuva para consumo não potável na cidade de São Paulo, através de um sistema de coleta experimental. Foram realizados testes de composição química, física e bacteriológica da água de chuva para verificar a necessidade de tratamento da água antes de ser utilizada. As amostras foram coletadas em dois pontos: no telhado do edifício e nos reservatórios de acumulação. Os resultados obtidos mostram que a água dos reservatórios tem melhor qualidade em relação às águas amostradas diretamente do coletor de água de chuva nos telhados, assim, é recomendado o descarte do volume de água dos primeiros 15 a 20 minutos de chuva, para que seja feita limpeza do telhado.

A exemplo disso, a Empresa australiana SafeRain trabalha com dispositivos para o descarte da primeira água, conforme apresentado na Figura 8 e na Figura 9.

Figura 8 - Desviador das águas das primeiras chuvas com válvula de desvio horizontal.



Fonte: SAFERAIN, 2007.

Figura 9 – Desviador das águas das primeiras chuvas com válvula de desvio vertical.



Fonte: SAFERAIN, 2007.

A válvula de desviador horizontal da SafeRain é projetada principalmente para ser instalada nas tubulações aéreas que alimentam um tanque de água ou o tanque da cisterna. Já a válvula do desviador vertical é projetada para ser instalada na parte de baixo da tubulação onde é alimentando o tanque (SAFERAIN, 2007).

Dentro do reservatório ocorre formação de uma pequena camada de lama, onde podem se depositar materiais pesados carregados pela chuva e, também microrganismos vindos do telhado e encanamentos, colocando em perigo aqueles que utilizarem essa água para fins potáveis. Por esse motivo Tomaz (2015) diz que essas águas de chuva só podem ser usadas para fins não potáveis, como descarga e lavagem de calçadas. O autor ainda sugere cuidados como limpeza anual do reservatório enterrado e evitar entrada de luz solar no reservatório; esses cuidados diminuem o risco de contaminação na água.

A água de chuva no ponto de uso para consumo não potável, de acordo Tomaz (2015), deve atender às seguintes exigências: odor e cor não podem ser desagradáveis; pH entre 5,8 a 8,6; cloro residual deve ser menor que 0,5 mg/L; coliformes totais não podem ultrapassar 1000/100ml e os sólidos em suspensão devem ser de, no máximo, 30 ml/L.

Além dos exemplos mencionados, têm-se também países como Japão, Alemanha, Estados Unidos e Austrália desenvolvendo pesquisas referentes ao aproveitamento de águas pluviais. (MARINOSKI, 2007)

No Brasil o cenário de aproveitamento de água de chuva é recente. Até aproximadamente 25 anos atrás havia poucas experiências de captação dessa água. A situação mudou quando, no final dos anos 70, a Embrapa Semiárido começou a fazer testes com cisternas para água pluvial e barragens subterrâneas. Então, percebeu-se a necessidade de programas educacionais para incentivar o manejo correto da água, e são realizados simpósios que dão grande impulso à utilização da água de chuva. (ABCMAC, 2018)

4 Método

O estudo foi baseado em uma revisão de artigos, monografias, apostilas, normas nacionais e informações de companhias de saneamento básico.

Com isso foi proposto um modelo para coleta de água de chuva com a finalidade de utilizar esta água em fins não potáveis. O modelo proposto é para um projeto residencial, e a partir daí será obtida uma conclusão do quão importante é a coleta de água e de como é fácil e simples de implantar um sistema de reaproveitamento em um projeto de construção residencial.

O estudo foi realizado para um projeto de construção residencial contendo dois quartos, dois banheiros, sala, cozinha e lavanderia que irá possuir uma área total construída de 69,90 metros quadrados, localizada na Rua João Deocleciano da Luz, Lote 15 Quadra 08, Jardim Califórnia, Franca-SP. Área de captação contendo 64,81 metros quadrados. Conformes anexo do projeto arquitetônico e anexo do sistema de captação pluvial.

Foi feito um levantamento da média de consumo de água diária fornecida pela ONU e divulgada pela CNM (Confederação Nacional de Municípios, 2019) sendo 150 litros per capita. Considerando esta residência para 3 moradores o consumo diário é de 450 litros e 13.500 litros mensais ou 13,5m³, servirá de base para a proposta do sistema de captação de água pluvial. Como esse valor engloba toda a água usada, tanto para fins potáveis quanto não potáveis, o volume para o

qual o uso da água de chuva será destinado, é apenas em usos onde a potabilidade da água não é necessária.

Baseado em uma revisão de artigos, monografias, apostilas, normas nacionais e companhias de saneamento básico, será desenvolvido o cálculo e dimensionamento de um sistema de captação de água pluvial para este imóvel. As estratégias para realização desta pesquisa partiram de modelos de coleta de água de chuva por meio de calhas e condutores, sendo depositada em um ou mais reservatórios, para posteriormente reutilizar a água pluvial captada.

4.1 Dados de precipitação

Os métodos utilizados necessitam dos dados de pluviosidade do local. Para isso, foi utilizada uma série histórica de 10 anos, obtida no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de 01/07/2009 até 31/07/2019.

As Tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, as precipitações médias mensais e anuais para o período escolhido, sendo a tabela 3 a média anual conforme o período pesquisado no INMET.

Tabela 2 – Média das precipitações mensais durante o intervalo de 10 anos.

Mês	Precipitação total em 10 anos (mm)	Precipitação média por mês (mm)
Janeiro	2.846,80	284,68
Fevereiro	2.040,70	204,07
Março	2.310,30	231,03
Abril	915,30	91,53
Mai	560,50	56,05
Junho	362,80	36,28
Julho	135,20	13,52
Agosto	171,50	17,15
Setembro	672,60	67,26
Outubro	1.474,10	147,41
Novembro	2.208,20	220,82
Dezembro	2.731,70	273,17

Fonte: Inmet, 2019

Tabela 3 – Precipitação média por ano.

Ano	Precipitação total no ano	Precipitação média no ano
2009	1.026,70	146,67
2010	1.628,90	135,74
2011	1.628,00	135,67
2012	1.538,90	128,24
2013	1.729,80	144,15
2014	1.093,20	91,10
2015	1.741,00	145,08
2016	1.608,40	134,03
2017	1.592,30	132,69
2018	1.858,60	154,88
2019	983,90	140,56

Fonte: Inmet, 2019.

4.2 Coeficiente de runoff

O volume de água de chuva aproveitável não é o total precipitado, para isso, usa-se o coeficiente de runoff ou coeficiente de escoamento superficial. (TOMAZ, 2015).

Esse coeficiente é necessário no método de Rippl e no programa Netuno, para dimensionamento do reservatório final. A Tabela 4 mostra os valores médios para o coeficiente.

Tabela 4 – Coeficientes de Runoff médios.

MATERIAL	COEFICIENTE DE RUNOFF
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz, 2015.

4.3 Áreas de captação

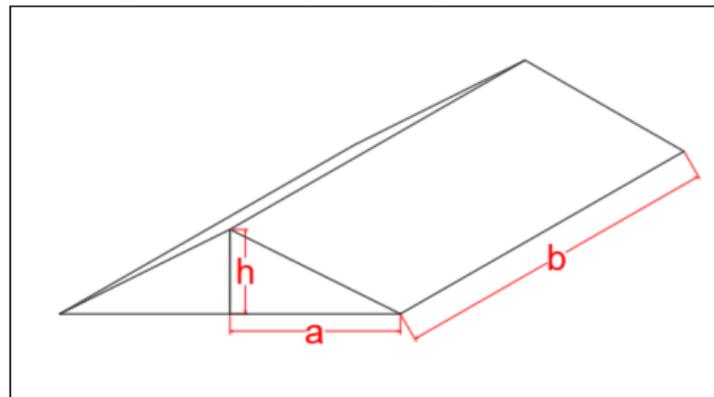
Foi necessário, além dos dados de pluviosidade, o levantamento da área de cobertura da residência em estudo. O aproveitamento da água é proveniente do escoamento das lajes de cobertura.

A determinação da área de captação é necessária para o cálculo dos volumes de reservatório pelos métodos da NBR 15527:2007.

O cálculo da área dessas lajes foi feito de acordo com a NBR 10844:1989, e através do software Autodesk AutoCAD®. Como o escoamento ocorre em superfície inclinada, foi utilizada a equação seguinte:

$$A = \left(a + \frac{h}{2}\right) \cdot b$$

Figura 10 – Representação da fórmula



Fonte: Autores, 2019.

Onde:

A = área de contribuição;

a = largura do telhado;

b = comprimento do telhado;

h = altura do telhado.

4.4 Dimensionamento da vazão

Para o dimensionamento da vazão, foram utilizados os dados da Tabela 2 - Média das precipitações mensais durante o intervalo de 10 anos, realizado por meio da fórmula:

$$Q = \frac{A \cdot I}{60}$$

Onde:

Q = Vazão captada por mês (L/min);

A = Área do telhado (m²);

I = Precipitação do mês (mm/h).

4.5 Dimensionamento das calhas

O dimensionamento das calhas pode ser feito através da fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = K \cdot \left(\frac{S}{n}\right) \cdot (Rh)^{\frac{2}{3}} \cdot (i)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

Q = vazão captada pelo telhado (L/min);

K = 60000;

S = área da seção molhada;

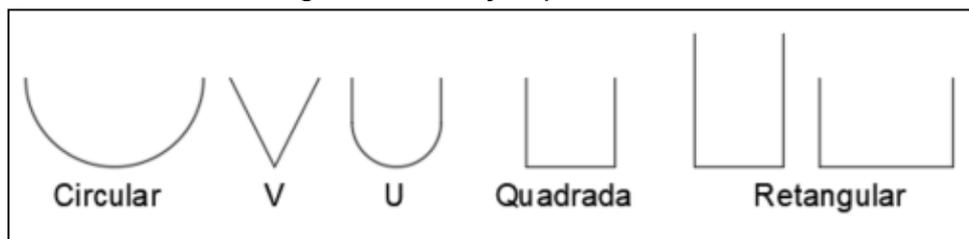
n = coeficiente de rugosidade;

Rh = raio hidráulico;

i = declividade da calha.

A parte mais importante do dimensionamento da calha é determinar a área da seção molhada; é ela que irá determinar a capacidade de vazão suportada que o telhado capta. Existem várias formas de seção, conforme demonstrado na figura 11.

Figura 11 – Seção para calhas.



Fonte: Autores, 2019.

Pelo fato de existirem diversas seções, a NBR 10844/1989 deixa a escolha livre para cada estilo de projeto arquitetônico, porém cada seção possui a sua eficiência.

Pela NBR 10844/89 os coeficientes de rugosidade variam conforme material utilizado. A tabela 5 lista seus materiais e respectivos coeficientes.

Tabela 5 – Coeficiente de rugosidade.

Material	n
plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

Fonte: NBR 10.844, 1989.

O raio hidráulico é calculado pela fórmula:

$$Rh = \frac{Am}{Pm}$$

Onde:

Am = área molhada;

Pm = perímetro molhado.

4.6 Dimensionamento dos condutores verticais

Para os condutores verticais, não existem fórmulas hidráulicas para seu dimensionamento já que há uma mistura de ar e água escoando nestes condutos. Podem ser instalados interna ou externamente ao edifício e devem ser projetados sempre em uma só prumada.

No estudo, os autores propuseram o cálculo de condutores verticais internos para que o projeto arquitetônico fosse mais bem elaborado e para que o sistema de captação de água pluvial ficasse totalmente fora do alcance de vista.

O dimensionamento dos condutores verticais é feito utilizando ábacos, a partir dos seguintes dados:

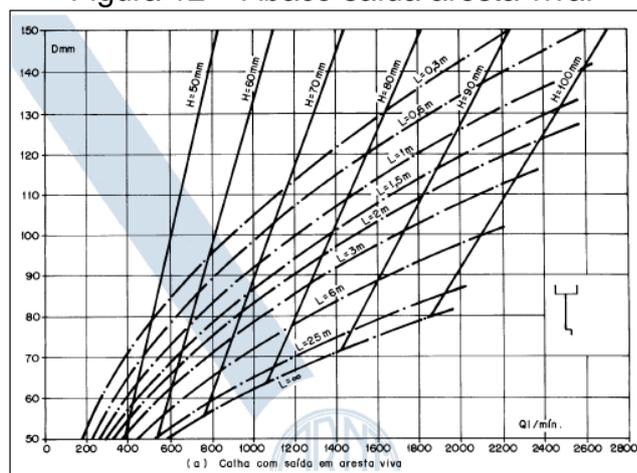
Q = vazão de projeto (L/min);

H = altura da lâmina de água na calha (mm);

L = comprimento do condutor vertical (m).

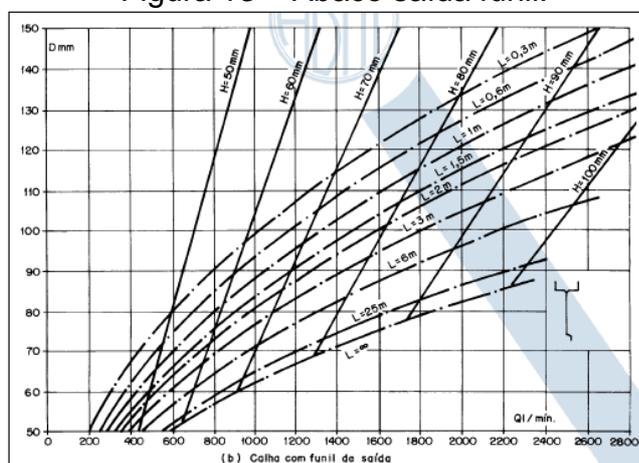
O comprimento do condutor vertical é determinado conforme cada projeto em que for aplicado. A norma 10844/89 específica, conforme a calha usada em projeto, dois ábacos sendo um para aresta viva e outro para saída funil conforme figuras 12 e 13.

Figura 12 – Ábaco saída aresta viva.



Fonte: NBR 10.844, 1989

Figura 13 – Ábaco saída funil.



Fonte: NBR 10.844, 1989.

4.7 Dimensionamento dos condutores horizontais

O dimensionamento dos condutores horizontais deve ser feito para escoamento com lâmina d'água de altura máxima igual a $2/3$ do diâmetro interno (D) do tubo, respeitando também a inclinação mínima que deve ser projetada com a declividade de 0,5% sempre que possível e a tabela de capacidade de condutores

horizontais de seção circular (vazões em L/min), presente na NBR 10844/89 conforme figura 14.

Figura 14 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular.

	Diâmetro interno (D) (mm)	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
		0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
6	200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
7	250	2.350	3.310	4.660	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
8	300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

Fonte: NBR 10.844, 1989.

4.8 Reservatórios

A NBR 15527:2007 apresenta, em anexo, seis diferentes métodos para o cálculo dos reservatórios de águas captadas. São eles: Método de Rippl, Método da Simulação, Método Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano.

Segundo Ghisi (2011) nenhum dos métodos apresentado na norma é totalmente satisfatório e adequado. Os métodos escolhidos foram: de Rippl, Prático Inglês e Azevedo Neto. Os métodos da Simulação, Prático Alemão e Prático Australiano não foram utilizados neste trabalho.

Macedo (2017) diz que o método que melhor se adaptou ao seu trabalho foi o Prático Inglês. Ainda, o autor diz que o método de Azevedo Neto foi satisfatório. O método de Rippl geralmente superdimensiona o reservatório, mas é bom para verificar o limite superior do volume do reservatório de águas de chuva (TOMAZ, 2012). Esses critérios foram utilizados para a escolha dos métodos.

Método de Rippl

Podem ser utilizadas as séries históricas mensais ou diárias.

$$S(t) = D(t) - Q(t)$$

$$Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva}(t) \times \text{área de captação}$$

$$V = \sum S(t), \text{ somente para valores } S(t) > 0$$

$$\text{Sendo que: } \sum D(t) < \sum Q(t)$$

Onde:

$S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t ; $Q(t)$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ; $D(t)$ é a demanda ou consumo no tempo t ;

V é o volume do reservatório;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

Método de Azevedo Neto

O volume de água aproveitável é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T$$

Onde:

P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

T é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seco;

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m^2);

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (l).

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,05 \times P \times A$$

Onde:

P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros.

5 Resultados

5.1 Áreas de captação

Conforme projeto apresentado em anexo, o telhado foi dividido em 4 áreas para que o cálculo da área de contribuição fosse mais preciso. A Tabela 6 apresenta os cálculos utilizados, onde pôde-se calcular por meio da porcentagem de inclinação adotada de 5%, e também pela fórmula citada acima.

Tabela 6 – Cálculo da área de contribuição.

TELHADO		
ÁREA 1		
a	4,7300	4,7300
b	1,3000	1,3000
i (%)		5
h	0,2365	
ÁREA	6,3027	6,3027
ÁREA 2		
a	2,9800	2,98
b	3,8000	3,8
i (%)		5
h	0,1490	
ÁREA	11,6071	11,6071
ÁREA 3		
a	4,7300	4,73
b	4,4500	4,45
i (%)		5
h	0,2365	
ÁREA	21,5747	21,5747
ÁREA 4		
a	3,2300	3,23
b	7,6500	7,65
i (%)		5
h	0,1615	
ÁREA	25,3272	25,3272
ÁREA TOTAL =		64,8118

Fonte: Autores, 2019.

5.1 Dimensionamento da vazão

Com os dados de precipitação obtidos pelo INMET, apresentados na Tabela 2 – Média das precipitações mensais durante o intervalo de 10 anos.e na Tabela 3 – – Precipitação média por ano., foi possível determinar a vazão. Para um projeto residencial de dimensionamento de calhas se torna ideal utilizar a precipitação média mensal, assim utilizando a fórmula descrita no item 3.4 obteve-se a vazão mensal de projeto captada pelo telhado com os resultados apresentados na tabela 7:

Tabela 7 – Vazão Mensal Projeto

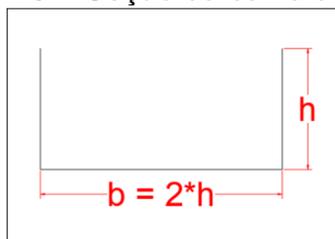
Mês	Vazão captada (L/min)
Janeiro	293,28
Fevereiro	210,23
Março	238,01
Abril	94,29
Mai	57,74
Junho	37,38
Julho	13,93
Agosto	17,67
Setembro	69,29
Outubro	151,86
Novembro	227,49
Dezembro	281,42

Fonte: Autores, 2019.

5.2 Dimensionamento das calhas

A seção da área de captação que foi adotada é de formato retangular, onde a base é duas vezes maior que a altura, vide figura 15.

Figura 15 – Seção da calha adotada.



Fonte: Autores, 2019.

Onde:

b = base da calha;

h = altura da calha.

Neste projeto, as calhas serão de materiais não ferrosos, e conforme a tabela 7 – Coeficiente de rugosidade, o coeficiente de rugosidade adotado será de 0,011.

Para o cálculo do raio hidráulico é necessário calcular a área molhada da seção adotada e seu perímetro molhado, para tanto foi realizado a substituição em função de h – altura da calha:

$$A_m = 2h^2$$

$$P_m = 4h$$

Substituindo na fórmula do raio hidráulico citado no item 3.5 do método, obteve-se:

$$R_h = \frac{2h^2}{4h}$$

$$R_h = 0,5h$$

A declividade da calha a ser adotada segue o especificado em norma, sendo assim foi adotada a declividade 5%.

Após a obtenção de todos os dados e substituindo na fórmula de Manning-Strickler, obtivemos a seguinte equação:

$$307,5103 = 60000 \cdot \left(\frac{2h^2}{0,011} \right) \cdot (0,5h)^{\frac{2}{3}} \cdot (5\%)^{\frac{1}{2}}$$

Isolando a altura,

$$h = \left(\frac{307,5103 \cdot 0,011}{60000 \cdot \sqrt{0,005}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Após a resolução da equação citada acima, chegou-se a um valor para a altura da lâmina d'água, mas por meio do BSI (British Standards Institution) adotou-se uma altura para a calha onde a borda livre seja maior que dois terços da altura da lâmina d'água encontrada no projeto, então o que foi calculado:

$$h = 7 \text{ cm}$$

$$b = 14 \text{ cm}$$

Ficou com o seguinte valor:

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$b = 14 \text{ cm}$$

Com base na tabela de vazão captada por mês, adotou-se o mês com maior vazão para que o sistema de condutores comporte todas as outras vazões máximas de outros meses.

O comprimento do condutor vertical será de três metros e meio, altura do pé direito da residência e a calha usada em projeto será de aresta viva, portanto foi utilizado o ábaco (a) demonstrado pela figura 14 fornecida pela norma 10844/89.

Sendo assim o diâmetro interno a ser utilizado no condutor vertical do projeto em questão será de 75 milímetros.

Conforme a figura 16 – diâmetro interno de condutores horizontais aponta e com os dados do projeto, o tubo adotado deverá possuir diâmetro interno de 125 milímetros.

Neste projeto não será necessária à instalação de caixas de inspeção e caixas de areia, conforme prescreve a norma, pois não possuirá trechos maiores do que 20 metros, não terá alteração de declividade e também não terá conexões com outras tubulações.

5.3 Dimensionamento do reservatório

Para o dimensionamento do reservatório e entre os métodos de dimensionamento apresentados no item 3.8, foi adotado o método de Rippl, onde o reservatório é determinado a partir da demanda de água mensal em comparação com quantidade de água captada.

A demanda mensal está condicionada à quantidade de pessoas que residem no imóvel. Considerando que a residência, objeto do presente estudo, está sendo projetada para 3 moradores, o consumo diário é de 450 litros diários e 13.500 litros mensais ou 13,5m³. Como esse valor engloba toda a água usada, tanto para fins potáveis quanto não potáveis, o volume para o qual o uso da água de chuva será destinado, é apenas em usos onde a potabilidade da água não é necessária.

Estudos feitos no Brasil e no exterior mostram que em uma residência grande parte do consumo de água concentra-se nos banhos, na descarga dos vasos sanitários, na pia da cozinha e na lavagem de roupas. Em média, 40% do total de água consumida em uma residência são destinadas aos usos não potáveis,

(GONÇALVES, 2009). Com isso, o consumo total de 13,5 m³ fica dividido da seguinte forma: 8,1 m³ (60%) para uso potável e 5,4 m³ (40%) para uso onde os índices de potabilidade não são necessários. Com esses dados e pelo método de Rippl foi montada uma planilha para o dimensionamento do reservatório (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores para dimensionamento do reservatório

Mês	Área de contribuição	Precipitação média mensal (mm)	Coefficiente de runoff	Volume de chuva captado (m ³)	Demanda mensal para uso não potável (m ³)	Balanço (m ³)
Janeiro	64,81	284,68	0,80	14,76	5,40	9,36
Fevereiro	64,81	204,07	0,80	10,58	5,40	5,18
Março	64,81	231,03	0,80	11,98	5,40	6,58
Abril	64,81	91,53	0,80	4,75	5,40	- 0,65
Mai	64,81	56,05	0,80	2,91	5,40	- 2,49
Junho	64,81	36,28	0,80	1,88	5,40	- 3,52
Julho	64,81	13,52	0,80	0,70	5,40	- 4,70
Agosto	64,81	17,15	0,80	0,89	5,40	- 4,51
Setembro	64,81	67,26	0,80	3,49	5,40	- 1,91
Outubro	64,81	147,41	0,80	7,64	5,40	2,24
Novembro	64,81	220,82	0,80	11,45	5,40	6,05
Dezembro	64,81	273,17	0,80	14,16	5,40	8,76
Total				85,19	64,80	17,79

Nesta planilha pode-se observar a junção de todos os valores adotados e obtidos por meio dos resultados do estudo. A tabela está composta por 7 colunas, sendo:

- Coluna 1: É o período de tempo que vai de Janeiro a Dezembro;
- Coluna 2: É a área de coleta, determinada pelo item 4.1;
- Coluna 3: É a precipitação média mensal dos últimos dez anos conforme explicado no item 3.1;
- Coluna 4: O telhado para este projeto será composto por telhas de cerâmicas, portanto conforme Tabela 4 – Coeficientes de Runoff médios disposta no item 3.2, adotou-se o valor de 0,8;
- Coluna 5: Demonstra o volume de água coletado em metros cúbicos, obtido pela fórmula:

$$Q = \frac{A \times P \times 0,8}{1000}$$

Onde:

Q = vazão em metros cúbicos;

A = área de captação;

P = precipitação média.

- Coluna 6: É a demanda mensal média na residência;
- Coluna 7: É o balanço obtido pela subtração do volume de chuva captado pela demanda mensal média.

Para a determinação do volume máximo para o reservatório, basta realizar o somatório dos meses em que o balanço ficou negativo, sendo assim como demonstrado pela tabela acima, o volume máximo do reservatório seria de 17,79 metros cúbicos, porém como se trata de um imóvel unifamiliar para 3 pessoas este reservatório se tornaria inviável. Conforme estudos do método de Rippl, é indicado implantar um reservatório que tenha 22% do volume encontrado, logo o reservatório para implantar neste imóvel terá um volume aproximado de 3,91 m³, arredondando para medidas comerciais o ideal será um reservatório de 5.000 litros.

6 Conclusão

O presente estudo mostra a importância do aproveitamento de água pluvial na atualidade, a água como dito é um recurso natural essencial para a sobrevivência humana e com a degradação do meio ambiente não se deve descuidar desse bem tão precioso. As políticas educacionais devem proporcionar este conhecimento para as novas gerações e também para aquelas que já existem, para que sejam evitados problemas no futuro próximo, punindo quem desperdiça água, e propondo projetos de leis onde mecanismos sustentáveis devam existir.

Como no estudo, seria interessante existirem leis determinando que todo o projeto arquitetônico deva conter projetos complementares mais sustentáveis, como por exemplo, o armazenamento de água de chuva e a infraestrutura para usar esta água coletada em serviços que não necessitam de águas potáveis. Com isso o consumo de água diminuiria conseqüentemente a população se conscientizaria e ao mesmo tempo iria poupar, podendo investir em mais projetos sustentáveis. Cabe ao poder público dar seguimento em projetos desta vertente, aprimorando o custo x benefício da implantação em projeto para que os empreendimentos já saiam prontos com mecanismos adaptados e aptos para exercer a sustentabilidade.

Referências

GHISI E.; CORDOVA M. M. Netuno 4 – Manual do Usuário. Florianópolis, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/franca/panorama>. Acesso em 06 de jun. 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 22 de jun. 2019.

JORGENSEN L. F. & STOCKMARR J. Groundwater monitoring in Denmark: characteristics, perspectives and comparison with other countries. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/241017657_Groundwater_monitoring_in_Denmark_Characteristics_perspectives_and_comparison_with_other_countries. Acesso em: 12 de jul. 2019.

Lei nº 9.433 de 1997 da política nacional de recursos hídricos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 04 de ago. 2019.

MACEDO, M. Análise De Viabilidade Do Aproveitamento De Água De Chuva Na Praça Dos Girassóis, Palmas-To. Disponível em: <http://bibli.uftm.edu.br/>. Acesso em: 17 de ago. 2019.

MACINTYRE, Archibald Joseph. Instalações hidráulicas: prediais e industriais. 4. ed. Rio de Janeiro (RJ): LTC, 2015. xiv, 579 p., il. Inclui bibliografia e índice.

MACOMBER, P. S. H. Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii. Department of Natural Resources and Environmental Management. College of Tropical Agriculture and Human Resource. University of Hawaii at Manoa, 2001. Disponível em: https://www.ctahr.hawaii.edu/hawaiirain/Library/Guides&Manuals/HI_Guidelines_2010.pdf. Acesso em: 18 de jun. 2019.

MARINOSKI, A. K. Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC.

MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. Dissertação (Mestrado). Curso de

MAY, S.; PRADO R. T. A. Estudo da qualidade da água de chuva para consumo não potável em edificações. CLACS' 04 – I Conferência Latino- Americana de Construção Sustentável e ENTAC' 04 – 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo – SP, 2004. Disponível em: ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP1108d.pdf. Acesso em: 17 de jul. 2019.

Ministério do Meio Ambiente. Ciclo Hidrológico. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>. Acesso em: 04 de jun. 2019.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Águas subterrâneas: Um recurso a ser protegido. Disponível em:

http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf. Acesso em: 10 de ago. 2019.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Água. Disponível em <http://www.mma.gov.br/agua>. Acesso em: 04 de jun. 2019.

NASA. Study: Third of Big Groundwater Basins in Distress. Disponível em: <https://www.nasa.gov/jpl/grace/study-third-of-big-groundwater-basins-in-distress>. Acesso em: 13 de jul. 2019.

Perdas de água 2018 (SNIS 2016): desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf>. Acesso em: 05 de jul. 2019.

Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil, Escola politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.

RAPOPORT, <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/5112/2/643.pdf> ACESSO EM 03 DE JUNHO DE 2019

Sabesp, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Controle de perdas. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=37>. Acesso em: 17 de jul. 2019.

Sabesp, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Hidrômetros. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=324>. Acesso em: 20 de jun. 2019.

Sabesp, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Norma Técnica Sabesp NTS 181 – Dimensionamento do ramal predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação. São Paulo, 2012.

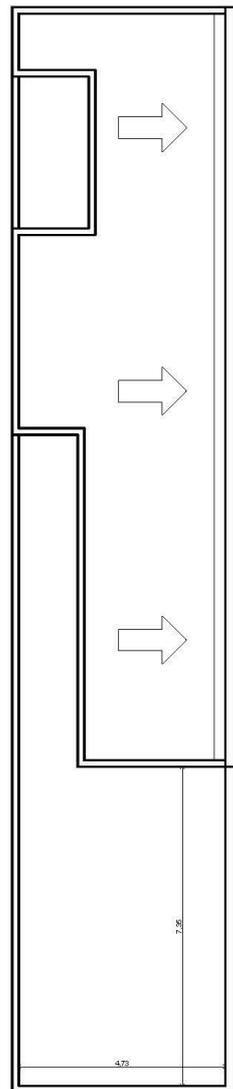
SAVEH, Sistema de Autoavaliação da Eficiência Hídrica. A disponibilidade de água no mundo e no Brasil. Disponível em: <https://saveh.com.br/artigos/a-disponibilidade-de-agua-no-mundo-e-no-brasil/>. Acesso em: 28 de ago. 2019.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. São Paulo: [s.n.], 2015. 530 p.

TOMAZ, P. Dimensionamento de reservatórios de água de chuva. São Paulo, 2012. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livro_calculos/capitulo109_julho.pdf. Acesso em: 23 de ago. 2019.

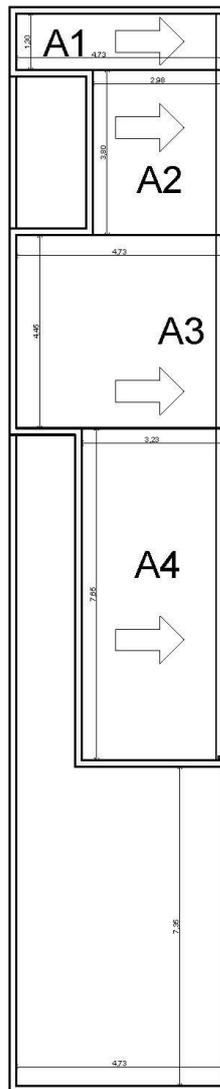
TRATA BRASIL. Perdas de água na distribuição: causas e consequências. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2017/11/16/perdas-de-agua-causa-e-consequencias/>. Acesso em: 28 de ago. 2019.

WATERFALL, P. H. Harvesting Rainwater for Landscape Use. University of Arizona Cooperative. Disponível em: https://www.tampabaywater.org/Portals/_default/Images/az1052.pdf?ver=2017-08-02-122309-770. Acesso em: 18 de jun. 2019.



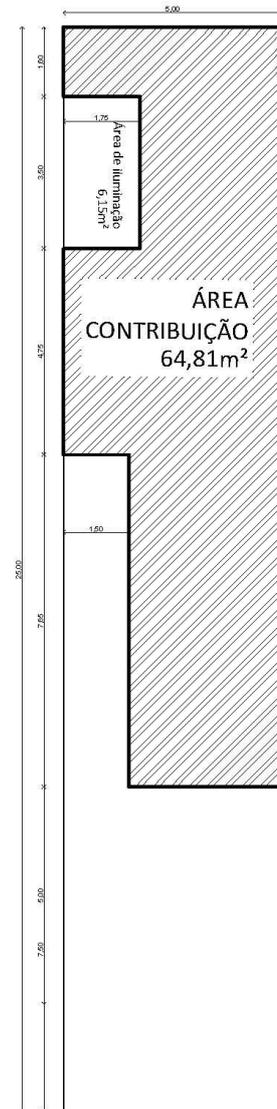
Cobertura

Esc. 1/100



Distribuição

Esc. 1/100



Contribuição

Esc. 1/100

