

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

JOÃO EVANGELISTA DE PAULA NETO

MODELO SUSTENTÁVEL DE APROVEITAMENTO PLUVIAL: USO RACIONAL DOS
RECURSOS HÍDRICOS CONSIDERANDO OFERTA E DEMANDA PARA
DIMENSIONAMENTO DE UM RESERVATÓRIO ÓTIMO. ESTUDO DE CASO PARA O
MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG.

Poços de Caldas/MG

2017

JOÃO EVANGELISTA DE PAULA NETO

MODELO SUSTENTÁVEL DE APROVEITAMENTO PLUVIAL: USO RACIONAL DOS
RECURSOS HÍDRICOS CONSIDERANDO OFERTA E DEMANDA PARA
DIMENSIONAMENTO DE UM RESERVATÓRIO ÓTIMO. ESTUDO DE CASO PARA O
MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG.

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas.

Área de concentração: Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos.

Orientador: Daniel Juliano Pamplona da Silva

Poços de Caldas/MG

2017

P324m Paula Neto, João Evangelista de.

Modelo sustentável de aproveitamento pluvial: uso racional dos recursos hídricos considerando oferta e demanda para dimensionamento de um reservatório ótimo. Estudo de caso para o município de Poços de Caldas - MG / João Evangelista de Paula Neto. – Poços de Caldas, 2017. 70 f. –

Orientador: Daniel Juliano Pamplona da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2017. Bibliografia.

1. Engenharia sanitária. 2. Recursos hídricos. 3. Águas pluviais. 4. Poços de Caldas (MG) – Consumo de água. I. Pamplona da Silva, Daniel Juliano. II. Título.

CDD: 628.1

JOÃO EVANGELISTA DE PAULA NETO

MODELO SUSTENTÁVEL DE APROVEITAMENTO PLUVIAL: USO RACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS CONSIDERANDO OFERTA E DEMANDA PARA DIMENSIONAMENTO DE UM RESERVATÓRIO ÓTIMO. ESTUDO DE CASO PARA O MUNICÍPIO DE POÇOS DE CALDAS - MG

A banca examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia Ambiental, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas.

Área de Concentração: Ciência e Engenharia Ambiental.

Aprovada em: 10 de fevereiro de 2017.



Prof (a) Dr (a). Daniel Juliano Pamplona da Silva

Instituição: UNIFAL-MG



Prof (a) Dr (a). Rodolfo Valentim da Costa Lima

Instituição: UNIFESP-SP



Prof (a) Dr (a). Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes

Instituição: UNIFAL-MG

Dedico a Deus, aos meus pais, irmãs e irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por ter me dado as forças necessárias para a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, João e Josefina, por caminharem sempre ao meu lado e por não pouparem esforços para que eu pudesse concretizar meus sonhos.

A Larissa, Luana e Marina, minhas irmãs amadas, pelo apoio e pelas palavras de incentivo.

Ao Adriano e ao Raphael, por auxiliarem na resolução de dúvidas e pelos conselhos concedidos.

À Jéssica Leal, por caminhar ao meu lado e pelas palavras de incentivo nos momentos de dificuldade.

Aos amigos de mestrado, em especial Jéssica, Maurício e Heber, pela amizade, paciência e incentivo em todos os momentos desta jornada.

À Universidade Federal de Alfenas, por abrir suas portas e por ter depositado confiança em mim e no meu trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao professor Daniel Pamplona, pela excepcional orientação, pelos ensinamentos e confiança.

Ao professor Antônio Marciano, pelos ensinamentos, pelo auxílio e pela disponibilidade em ajudar.

Ao professor Rafael Brito de Moura pelo auxílio e pela confiança.

À Ana Beatriz (in memoriam), por ser uma das pessoas a apoiar esta realização.

A todos os funcionários da UNIFAL e do PPGCEA, pela paciência e pela ajuda.

À Companhia Brasileira de Alumínio (CBA), pela concessão de dados.

A todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para a execução desta pesquisa.

Peça a Deus que abençoe seus planos, e eles
darão certo. Provérbios 16:3

RESUMO

A escassez hídrica, identificada em diversas localidades do Brasil, evidencia graves problemas relacionados ao gerenciamento inadequado dos recursos hídricos, como o crescimento demasiado do consumo, a falta de incentivos governamentais na efetivação de medidas conservacionistas e o desinteresse da população em praticar o uso racional. A aplicação de novas fontes de suprimento hídrico, como o aproveitamento de águas pluviais, apresenta grande potencial de aplicação, principalmente quando se busca aperfeiçoar a utilização dos recursos hídricos ou reduzir os custos oriundos do consumo de água potável. Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o aproveitamento pluvial no município de Poços de Caldas, o qual possibilitou diagnosticar o potencial de utilização das águas de chuva para suprimento não potável residencial e o desenvolvimento de uma metodologia para dimensionamento de reservatórios pluviais, adequando-se a Equação da Continuidade. Os resultados obtidos permitem concluir que a implantação da prática de aproveitamento pluvial apresentou alto potencial de aplicação, uma vez que foram dimensionados volumes viáveis de reservatórios pluviais, fato principalmente observado pelo emprego da metodologia proposta, obtendo-se um reservatório de 2015,44 litros para um consumo relativo a 6132 litros mensais, referente à demanda de quatro moradores, possibilitando garantir o suprimento do consumo prioritário e a implantação de um sistema residencial destas proporções.

Palavras-chave: Escassez. Suprimento hídrico. Aproveitamento Pluvial. Consumo Prioritário.

ABSTRACT

The water scarcity, identified in several locations of Brazil, shows serious issues related to inappropriate management of water resources, such as over consumption increase, the lack of governmental incentives in the implementation of conservation measures and population's indifference to practice water rational use. Therefore, the using of new water supply sources, such as rainwater harvesting, it presents great potential for application, mainly when seeking to improve the water resources uses or reduce the costs of potable water consumption. This paper aims to evaluate the rainwater harvesting practice in the Poços de Caldas municipality, which enabled to identify the rainwater harvesting potential application to supply residential non-potable uses and development of a sizing rainwater reservoir method, adapting Continuity Equation. The obtained results allow concluding that rainwater harvesting practice implantation presented high application potential, once were sized feasible rainwater reservoir volumes, fact mainly noticed by using proposed method, being obtained a reservoir of 2015, 44 liters for consumption of 6132 liters monthly, relative to the consumption of four residents, allowing to ensure priority consumption supply and implantation of a residential system of these proportions.

Keywords: Scarcity. Water Supply. Rainwater Harvesting. Priority Consumption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico e seus componentes	17
Figura 2 - Tipos de precipitações existentes.....	21
Figura 3 - Cisterna do povo Maya, denominada Chultun	25
Figura 4 - Comportamento da precipitação mensal no município de Poços de Caldas	43
Figura 5 - Comportamento das variáveis aplicadas ao modelo proposto.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da disponibilidade hídrica segundo UNEP.....	23
Tabela 2 - Custos dos reservatórios pluviais produzidos em cimento.....	39
Tabela 3 - Custo dos reservatórios de fibra de vidro cilíndricos	40
Tabela 4 - Parâmetros de engenharia e respectivos valores.....	42
Tabela 5 - Faixa de valores adotados para o Coeficiente de Repressão da Demanda	49
Tabela 6 - Estimativa da Demanda não Potável média.....	53
Tabela 7 - Estimativa do Déficit Hídrico Mensal para o período crítico.....	57
Tabela 8 - Classificação referente aos valores estimados para Coeficiente de Aproveitamento Pluvial Teórico.....	59
Tabela 9 - Dimensionamento do reservatório pluvial pelo Modelo de Controle da Demanda.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	-Agência Nacional de Águas
ABNT	-Associação Brasileira de Normas Técnicas
USGS	-United States Geological Survey
UNEP	-United Nations Environment Programme
UNWWAP	-United Nations World Water Assessment Programme
FAO	-Food and Agriculture Organization
PDE	-Plano Diretor Estratégico
PURAE	-Programa de Conservação e Uso Racional da água nas Edificações
SNIS	-Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
DME	-Departamento Municipal de Eletricidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	O CICLO HIDROLÓGICO	16
3.1.1	Precipitação	19
3.2	PROBLEMAS DE ESCASSEZ HÍDRICA	22
3.3	HISTÓRICO DO APROVEITAMENTO PLUVIAL.....	24
3.4	LEGISLAÇÃO REFERENTE AO APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	27
3.5	METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PLUVIAIS	32
3.5.1	Método de Rippl	32
3.5.2	Método da Simulação	34
3.5.3	Método Azevedo Neto	34
3.5.4	Métodos Práticos	35
3.6	CUSTO DOS RESERVATÓRIOS	38
4	METODOLOGIA - MODELAGEM TEÓRICA DA PRÁTICA DE APROVEITAMENTO PLUVIAL	41
4.1	DEMANDA RESIDENCIAL NÃO POTÁVEL E DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	41
4.2	MODELO DE ARMAZENAMENTO MÁXIMO	45
4.3	MODELO DE RESERVA DO PERÍODO CHUVOSO (MÉTODO DE RIPPL).....	47
4.4	MODELO DE REPRESSÃO DA DEMANDA HÍDRICA	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1	MODELO DE ARMAZENAMENTO MAXIMO – ESTUDO DE CASO 1.....	54
5.2	MODELO DE RESERVA DO PERÍODO CHUVOSO – ESTUDO DE CASO 2	56
5.3	MODELO DE REPRESSÃO DA DEMANDA HÍDRICA – ESTUDO DE CASO 3	57
6	CONCLUSÕES	63
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural de extrema importância para a manutenção da vida no planeta Terra, a qual apresenta como principal finalidade a dessedentação humana e animal, possibilitando ainda o desenvolvimento das atividades humanas de maneira geral. Tal recurso apresenta grande disponibilidade em determinadas localidades e escassez severa em outras, afetando diretamente a qualidade de vida das populações. Em comparação com o restante do mundo, o Brasil apresenta grande disponibilidade de água, ao passo que tal recurso se distribui de forma desigual neste território, causando inúmeros problemas de abastecimento hídrico.

Os problemas de escassez dos recursos hídricos refletem o desinteresse da população e a ineficiência das entidades públicas para implementar a gestão adequada da água, conduzindo a graves problemas de fornecimento hídrico em diversas localidades, principalmente em grandes centros urbanos. Somado à escassez, o desperdício de água potável, caracterizado por vazamentos nos sistemas de distribuição, poluição e utilização para fins não potáveis, agrava a situação de baixa disponibilidade, intensificando a necessidade de maiores investimentos para manutenção dos sistemas públicos de fornecimento.

As concentrações urbanas estão diretamente vinculadas à proximidade espacial dos recursos hídricos, os quais interferem tanto no modo de vida das populações quanto no desenvolvimento de suas atividades econômicas. Anteriormente aos problemas de disponibilidade hídrica, visualizava-se a importância da água como recurso ligado principalmente a dessedentação humana. No entanto, as modalidades de uso e o perfil de consumo sofreram consideráveis transformações, tornando o ser humano cada vez mais dependente deste recurso.

A redução dos volumes mensais de precipitação visualizada a partir do ano de 2012 na região Nordeste e outubro de 2013 na região Sudeste mostrou o surgimento de uma situação atípica no país, apontando que o conhecimento das alterações climáticas e das tendências pluviométricas apresenta imprecisão devido ao curto período de observação destes fenômenos. Todavia, a crise hídrica existente neste período não ocorreu somente pela redução dos índices de precipitação, mas também por fatores relacionados ao gerenciamento da demanda e garantia da disponibilidade hídrica (ANA, 2014).

A expansão contínua dos centros urbanos se desenvolve baseada na impermeabilização massiva dos terrenos e canalizações artificiais dos cursos de água, intensificando a escassez hídrica, a qual se desencadeia por fatores como baixa eficiência dos sistemas hídricos, contaminações das águas e reduzida utilização das práticas de reaproveitamento (SOUZA et al., 2012). Buscando incrementar a aplicação de práticas conservacionistas, incentivos governamentais e acessibilidade tecnológica constituem medidas eficazes de sustento ao uso racional da água, atenuando os problemas advindos da escassez hídrica.

A adoção de práticas conservacionistas possibilita a redução do consumo de água potável tanto pela conscientização dos consumidores quanto pela utilização de outras fontes hídricas para atendimento à demanda, ocasionando redução no volume consumido, e conseqüentemente, incorrendo em menores custos de tratamento e distribuição da água. Buscando-se obter maior eficiência na utilização dos recursos hídricos, medidas convencionais de conservação hídrica devem ser implementadas em conjunto com as medidas não convencionais, potencializando a disponibilidade hídrica em ambientes residenciais e reduzindo o consumo de água potável.

Salla et al. (2013) ponderam que possui significativa importância a participação da população referente ao uso racional da água e a necessidade de implantação de um sistema seletivo de abastecimento de água, pois, na maioria das edificações existentes no país, a água potável é utilizada para suprimento de todas as atividades domésticas em geral, independentemente do uso ao qual este bem se destina. Além de poupar recursos naturais, a redução do consumo de água potável minimiza os custos nos sistemas de tratamento e distribuição nas localidades urbanas.

Em determinadas situações, principalmente em territórios com baixa disponibilidade hídrica ou com alto consumo, a sobrecarga dos mananciais de abastecimento urbano pode alterar o regime e a qualidade das águas, resultando na degradação das bacias hidrográficas. Desta forma, surge a necessidade de obtenção de outras fontes de suprimento de água, como o aproveitamento pluvial e reúso, em substituição aos recursos hídricos provenientes dos sistemas públicos de distribuição, garantindo suprimento hídrico de qualidade satisfatória sem requerer grandes investimentos.

A prática de aproveitamento pluvial apresenta como vantagem a possibilidade de suprimento sustentável da demanda hídrica, destinando a água potável para usos nobres e o volume pluvial coletado a usos que exigem menor padrão de qualidade da água. Além disso, a captação de água pluvial auxilia na retenção do volume do escoamento superficial em

localidades urbanas de grande porte, as quais normalmente enfrentam sérios problemas relacionados a drenagem urbana, como as inundações de rios e cursos de água em períodos de pluviosidade intensa, causados pela impermeabilização do solo (CARVALHO, 2014).

De forma a orientar a prática de aproveitamento pluvial no país, foi implementada a norma NBR 15527 (ABNT, 2007), constituindo o aparato legal de certificação de tal prática, apontando as formas de concepção do sistema, componentes a serem utilizados, frequência de manutenção e métodos de dimensionamento de reservatórios. Além disso, a respectiva norma descreve os padrões de qualidade da água pluvial necessários para atendimento a usos menos nobres, caracterizados por descargas em bacias sanitárias, irrigação de jardins, lavagem de veículos entre outros, visando prevenir a contaminação humana e possibilitar a aplicação de um tratamento adequado para a água coletada.

Considerando-se a importância do tema abordado, o presente estudo tem como motivação avaliar a implantação da prática de aproveitamento pluvial no município de Poços de Caldas, sendo analisado o potencial de utilização das águas pluviais coletadas para suprimento não potável residencial. Além da respectiva análise, foi proposta uma metodologia de dimensionamento de reservatório pluvial residencial baseada no controle da demanda hídrica. Tal sistemática foi desenvolvida pela adequação da Equação da Continuidade, a qual se aplica a metodologias de dimensionamento de reservatórios. O método proposto foi comparado com as demais metodologias existentes, possibilitando constatar a obtenção de um valor mínimo dimensionado para o reservatório pluvial, apresentando viabilidade de implantação em sistemas residenciais de aproveitamento pluvial.

2 OBJETIVOS

A presente seção aborda os objetivos a serem atingidos pelo trabalho, os quais se dividem em objetivo geral e objetivos específicos.

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a prática de aproveitamento pluvial no município de Poços de Caldas, sendo utilizado o volume pluvial disponível para suprimento residencial não potável. Aplicando-se tal prática, foi analisada a metodologia de dimensionamento de reservatório pelo controle do consumo hídrico, utilizando-se a Equação da Continuidade, e desta forma, possibilitando obter um volume mínimo de reservatório de armazenamento pluvial.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De forma a pormenorizar as atividades desenvolvidas no presente trabalho, os objetivos específicos são descritos a seguir:

- a) Estimar o volume hídrico correspondente ao consumo de água não potável residencial;
- b) Caracterizar a disponibilidade hídrica, considerando-se o volume proveniente da coleta pluvial;
- c) Analisar o método de controle do consumo hídrico aplicado ao dimensionamento de reservatórios de águas pluviais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico, retratam-se os temas relacionados com a presente pesquisa, sendo descrito o ciclo hidrológico, problemas relacionados à escassez hídrica, histórico da prática de aproveitamento de águas pluviais, aparato legal relacionado à coleta de água da chuva, métodos de dimensionamento de reservatórios descritos pela norma NBR 15527/2007 e custo de reservatórios constituintes de sistemas de aproveitamento pluvial.

3.1 O CICLO HIDROLÓGICO

O Ciclo hidrológico ou ciclo da água é o processo natural pelo qual a água existente no globo terrestre, apresentando diferentes formas, circula entre o subsolo, a superfície terrestre e a atmosfera, englobando diversos fenômenos ou processos naturais essenciais a sua dinâmica. Conforme Silveira (2009) o ciclo hidrológico é o processo global de circulação hídrica fechada entre a superfície da terra e a atmosfera, o qual é impulsionado essencialmente pela energia solar em conjunto com a força gravitacional e a rotação da Terra.

A superfície terrestre engloba continentes e oceanos integrantes do ciclo hidrológico, sendo os continentes representados pela camada porosa de recobrimento (solos e rochas), enquanto os oceanos correspondem ao reservatório hídrico. A atmosfera, assim como a superfície terrestre, possui significativa importância para os processos constituintes do ciclo hidrológico, os quais ocorrem principalmente na troposfera, camada responsável por grande parte dos fenômenos meteorológicos existentes (SILVEIRA, 2009). A precipitação e a evaporação são os principais constituintes que orientam o ciclo, englobando várias transformações de estado físico da água, a qual pode passar da condição de líquido para vapor ou ao contrário, passando de vapor para líquido (HAGEMANN, 2009).

Heller (2006) pondera que o ciclo hidrológico se constitui de seis processos fundamentais, os quais são: evaporação, precipitação, infiltração, transpiração, escoamentos superficial e subterrâneo, conforme ilustrado na Figura 1. O ciclo hidrológico não possui uma definição correta em relação ao seu início ou término, pois os mecanismos e processos que condicionam o funcionamento de tal sistema são dependentes entre si.



Figura 1 - Ciclo Hidrológico e seus componentes.
Fonte: USGS (2016).

Os componentes ou processos básicos do ciclo hidrológico são constituídos de entradas e saídas do sistema, ocorrendo movimentações de água no sentido da atmosfera para a superfície terrestre e ao contrário, da superfície para a atmosfera. Os processos componentes do ciclo hidrológico são definidos e caracterizados a seguir:

- a) **Evaporação**: processo físico por meio do qual um material em estado líquido ou sólido sofre transformação para o estado gasoso. As variáveis meteorológicas que influenciam este processo, além da energia solar, são a temperatura do ar, vento e pressão de vapor (TUCCI, 2009);
- b) **Precipitação**: definida como toda forma de água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre, podendo ser na forma de neblina, chuva, granizo, geada, saraiva, orvalho ou neve, sendo diferenciadas pelo estado em que se encontra a água precipitada. A precipitação apresenta como características principais o seu total, duração e distribuição temporal e espacial (BERTONI, 2009);

- c) Infiltração: passagem da água precipitada pela superfície do solo, a qual interfere diretamente no escoamento superficial direto e no preenchimento dos poros do solo. Os fatores relacionados ao solo que influenciam a infiltração são porosidade, estrutura, umidade e textura (MELLO; SILVA, 2013);
- d) Transpiração: processo pelo qual as plantas liberam água que absorveram do solo para a atmosfera, sendo denominado evapotranspiração o processo combinado entre evaporação da água presente no solo e a transpiração das plantas (HELLER, 2006);
- e) Escoamento Superficial: processo em que a lâmina de água, proveniente da precipitação, percorre a superfície terrestre. Depende de variáveis como o volume de precipitação e a capacidade de infiltração do solo;
- f) Escoamento Subterrâneo: movimentação subterrânea de água proveniente de reservatórios subterrâneos ou aquíferos. Depende de algumas variáveis, como o tipo das formações rochosas, coeficiente de armazenamento e porosidade.

Kaufmann (2013) afirma que a parcela de água que não sofre interceptação vegetal, ou seja, o volume precipitado que atinge efetivamente a superfície terrestre, pode se acumular nas depressões do solo, se infiltrar nas camadas inferiores terrestres ou originar o escoamento superficial. Posteriormente ao processo de infiltração, a água pode permanecer armazenada no solo e sofrer evaporação direta, evapotranspiração ou até mesmo percolar para o reservatório subterrâneo, enquanto no escoamento superficial a água normalmente atinge mananciais hídricos, como riachos, rios e lagos.

Silveira (2009) enumera os fatores que favorecem a variabilidade das manifestações no ciclo hidrológico, considerando-se qualquer localidade do globo terrestre, sendo tais a desuniformidade com que a energia solar atinge diferentes regiões, a diferença de comportamento térmico entre os continentes e oceanos, a quantidade de vapor de água, gás carbônico e ozônio presente na atmosfera, a variabilidade espacial da tipologia de solos e existência de coberturas vegetais, sendo igualmente importante a interferência da rotação e inclinação do eixo terrestre para a circulação da água na atmosfera, a qual justifica a existência de estações anuais.

Analisando-se os componentes do ciclo hidrológico, percebe-se que as atividades antrópicas desenvolvidas nas bacias hidrográficas podem desencadear alterações em um ou mais componentes deste sistema, modificando a dinâmica natural pela diminuição do

potencial de infiltração e acréscimo no escoamento superficial direto, podendo estes ocasionar processos erosivos e inundações (MELLO; SILVA, 2013).

3.1.1 Precipitação

A precipitação é definida como toda parcela de água proveniente da camada atmosférica que atinge a superfície terrestre ou sofre interceptação, podendo tal fração se precipitar tanto em forma líquida quanto em forma sólida, resultante do processo de condensação do vapor de água presente em meio atmosférico. De acordo com Bertoni (2009), a ocorrência da precipitação constitui um processo aleatório que impossibilita a previsão determinística com grande antecedência. O início das precipitações depende do crescimento das gotículas de água existentes e da possibilidade do volume e peso destas em superar as forças verticais ascendentes.

Heller (2006) afirma que a precipitação pode ocorrer de diversas formas, como chuva, chuvisco, neve, orvalho, geada ou granizo. O chuvisco se constitui de gotículas muito finas, variando o diâmetro entre 0,1 e 0,5 mm e com baixas intensidades. Já a chuva é formada por gotas maiores, com diâmetro entre 0,5 e 55 mm, as quais se precipitam com intensidades variadas e dependentes das massas de ar. Certas nuvens de desenvolvimento vertical podem originar o granizo, precipitação em forma de pedras de gelo com dimensões variadas. O orvalho se forma pela condensação do vapor de água nas folhagens das plantas, podendo originar a geada em temperaturas menores que 0°C, enquanto a neve ocorre pela precipitação de cristais de gelo de dimensões e formas variadas.

Segundo Bertoni (2009), o vapor de água presente na camada atmosférica constitui um reservatório potencial de água, e quando se processa sua condensação, existe a possibilidade de ocorrência de precipitações. As precipitações se originam pelo crescimento das gotículas das nuvens, ocorrendo casos em que as nuvens não produzem chuvas, evidenciando-se, desta forma, a necessidade de processos para desencadeamento das precipitações. Para ocorrência de precipitação, as gotas de chuva devem atingir determinado volume para que seu peso consiga superar as forças que as mantêm suspensas, adquirindo uma velocidade vertical de descida maior que as componentes verticais ascendentes da movimentação atmosférica.

Hagemann (2009) afirma que o conhecimento de certas grandezas características dos processos de precipitação apresenta grande importância para estudos relacionados ao respectivo fenômeno, sendo tais aspectos considerados a seguir:

- a) Altura pluviométrica: nível que o volume precipitado poderia atingir no solo por unidade de área, considerando-se a ausência de infiltração e escoamento superficial;
- b) Duração: intervalo de tempo no qual ocorre a precipitação;
- c) Intensidade: relação existente entre a duração da precipitação e a altura pluviométrica obtida;
- d) Frequência de probabilidade e tempo de retorno: período de tempo em que se espera que determinada precipitação seja igualada ou superada.

Segundo a mesma autora, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais sofrem influência direta das características relacionadas às precipitações, sendo tal consideração justificada pela interferência de parâmetros como intensidade, duração e frequência no dimensionamento de alguns componentes, como calhas, condutores verticais e reservatórios. Além disso, a caracterização dos constituintes das precipitações apresenta relevante importância para o funcionamento adequado do sistema pluvial, já que a combinação entre altura pluviométrica, duração e intensidade também constitui um fator que influencia a qualidade da água obtida.

3.1.1.1 Tipos de Chuvas

Mello e Silva (2013) relatam que o resfriamento adiabático é o principal agente responsável pela condensação, e desta forma, desencadeante da maioria das precipitações. Conseqüentemente, a movimentação vertical (correntes) das massas de ar possui grande importância no processo. O mecanismo gerador das correntes de ar e o meio físico determinam a classificação das precipitações, podendo ser Ciclônicas, Orográficas e Convectivas, conforme Figura 2.

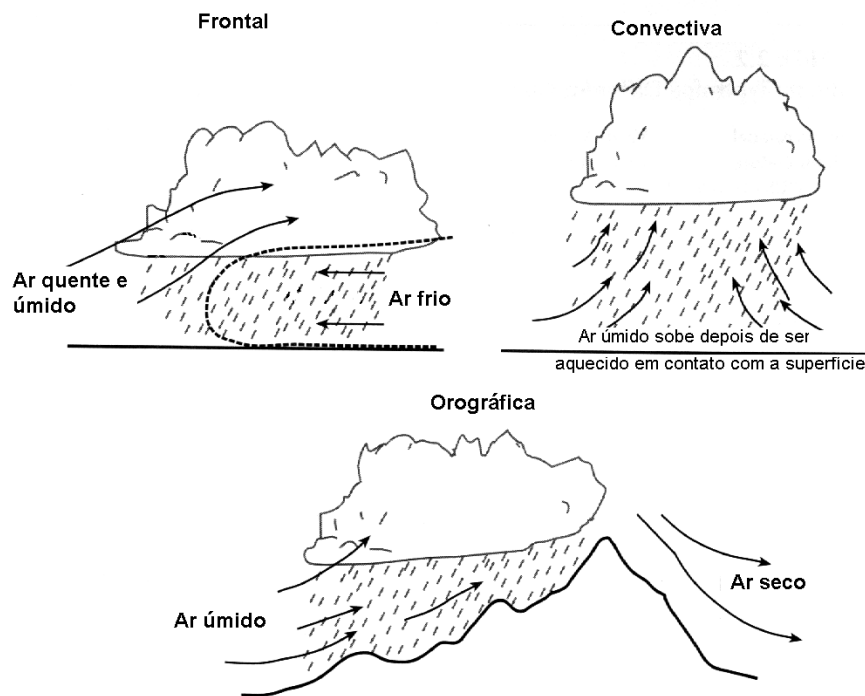


Figura 2 - Tipos de precipitações existentes.
Fonte: Collischonn; Tassi (2008).

As chuvas ciclônicas estão relacionadas a movimentos de massas de ar de locais de alta pressão atmosférica para locais de baixa pressão, sendo classificadas como não frontal e frontal. Na chuva ciclônica não frontal há a convergência de massas quentes e úmidas para locais com baixa pressão atmosférica, ocorrendo posterior ascensão e resfriamento. A chuva ciclônica frontal é resultante da subida do ar quente sobre o ar frio na região de contato entre massas distintas em relação às características termodinâmicas. As precipitações ciclônicas frontais possuem intensidade baixa a moderada e são de longa duração (MELLO; SILVA, 2013).

As chuvas orográficas ocorrem quando ventos quentes e úmidos se locomovem no sentido do oceano para o continente, ocorrendo a elevação destes pela existência de barreiras naturais e resfriamento adiabático com condensação de vapor, formação de nuvens e chuvas. Estas chuvas são caracterizadas como chuvas de pequena intensidade e grande duração, englobando pequenas áreas. Em caso dos ventos ultrapassarem a barreira natural, normalmente montanha, no seu lado oposto se apresenta a sombra pluviométrica, originando zonas secas ou semi-áridas causadas pela ausência de umidade dos ventos, descarregada na parte anterior (BERTONI, 2009).

As chuvas convectivas ocorrem pelo processo de aquecimento da superfície terrestre, o qual resulta em aquecimento das camadas atmosféricas e posterior estratificação térmica, ocasionando instabilidade. Ocorrida qualquer perturbação, a camada de ar quente sobe rápida e bruscamente, atingindo grandes altitudes. Inicialmente ocorre a formação das nuvens *Cumulus*, e em segundo estágio, as nuvens *Cumulunimbus*, em ambas ocorrendo descargas atmosféricas e granizo. Apresentam precipitações de alta intensidade, curta duração e concentração em pequenas áreas (MELLO; SILVA, 2013).

3.2 PROBLEMAS DE ESCASSEZ HÍDRICA

Os problemas de escassez hídrica, enfrentados principalmente pelas populações urbanas, refletem a ineficácia dos órgãos públicos na implementação de uma gestão eficiente da água, conduzindo a graves problemas de fornecimento hídrico em diversas localidades, os quais são exemplificados pela paralisação do abastecimento e utilização de água de qualidade inferior. Aliado à escassez, o desperdício de água potável, caracterizado por vazamentos nos sistemas de distribuição, poluição e utilização para fins não potáveis, agrava a situação de baixa disponibilidade e intensifica a necessidade de investimentos em sistemas de abastecimento público.

A escassez hídrica pode decorrer da implementação de políticas de curto alcance, como também da concentração excessiva de licenças para uso da água em uma bacia ou pelo crescimento excessivo de áreas de irrigação, principalmente quando a utilização da água é barata ou gratuita para agricultores. O problema se agrava pelo aumento da demanda pelos usuários e pela redução da disponibilidade e da qualidade do recurso hídrico (FAO, 2012). De acordo com Moreira Neto (2011), panoramas de escassez e prognósticos negativos preocupam populações em todo o mundo, enquanto muitas já presenciam a falta de água e outras percebem a alteração do regime dos mananciais e a dificuldade para obter tal recurso.

A distribuição e a disponibilidade de água doce baseadas na precipitação e escoamento superficial podem apresentar incorreções, partindo do pressuposto de que diferentes áreas ao redor do globo recebem quantidades desiguais de água em qualquer ano (UN WWAP, 2015). Em esfera global, o Brasil apresenta grande disponibilidade hídrica, considerando-se que percorrem aproximadamente 260.000 m³/s de água no território brasileiro, estando uma

parcela de 205.000 m³/s inserida na bacia do Rio Amazonas, resultando uma vazão média de 55.000 m³/s para o restante do território (ANA, 2015).

De forma a possibilitar uma avaliação rigorosa dos volumes hídricos disponíveis aos seres humanos, a United Nations Environment Programme (UNEP, 2002 apud ANNECCHINI, 2005) realiza a classificação da disponibilidade hídrica baseada na quantidade de água disponível, em metros cúbicos, por habitante, considerando-se o período anual. A disponibilidade pode ser classificada como muito alta ou catastróficamente baixa, conforme apresentado pela Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação da disponibilidade hídrica segundo UNEP.

Disponibilidade Hídrica (m ³ per capita/ano)	Classificação
Maior que 20.000	Muito Alta
10.000 a 20.000	Alta
5.000 a 10.000	Média
2.000 a 5.000	Baixa
1.000 a 2.000	Muito Baixa
Menor que 1.000	Catastróficamente Baixa

Fonte: UNEP (2002) apud Anecchini (2005).

Conforme analisado por Ghisi (2005), as regiões Nordeste e Sudeste do Brasil apresentarão disponibilidade hídrica menor que 2000 m³ per capita no ano a partir do ano de 2050, sendo obtida uma disponibilidade hídrica inferior a 1000 m³ por ano para cada habitante a partir do ano de 2100 para as mesmas regiões analisadas, apontando uma disponibilidade hídrica catastróficamente baixa, conforme classificação proposta pela UNEP, pressupondo que estas regiões poderão sofrer com sérios problemas de disponibilidade hídrica em um futuro próximo, a menos que programas governamentais de conservação da água sejam implementados.

Segundo Yoshino (2012), buscando solucionar os problemas de escassez hídrica, diversos países, assim como o Brasil, incentivam programas de combate ao desperdício, a medição individualizada, o uso de dispositivos economizadores, além de dispensar esforços para adoção de outras fontes alternativas de água, como a prática de reúso de águas servidas e o aproveitamento de águas pluviais. No momento atual, o uso de sistemas de aproveitamento pluvial apresenta potencial de crescimento, impulsionado pelo pensamento ambientalista vigente, o qual busca inserir a sustentabilidade ambiental nas práticas antrópicas de maneira abrangente (DORNELLES, 2012).

3.3 HISTÓRICO DO APROVEITAMENTO PLUVIAL

May (2004) pondera que o manejo e aproveitamento de águas pluviais destinadas ao suprimento doméstico, industrial e agrícola vêm se destacando em diversas localidades do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para minimizar os efeitos ocasionados pela escassez hídrica. A utilização das águas pluviais, promovendo a conservação da água e reduzindo a dependência de fontes superficiais de fornecimento, ainda possibilita a minimização do escoamento superficial e fomenta a restauração do ciclo hidrológico em localidades urbanas, constituindo fator imprescindível para garantia do desenvolvimento sustentável (ANNECCHINI, 2005).

Yoshino (2012) cita que a prática de aproveitamento das águas pluviais é utilizada em diversas localidades do mundo há muito tempo, sendo particularmente empregada e difundida em regiões áridas e semi-áridas. A aplicação da prática de coleta pluvial nestas regiões se justifica pela baixa disponibilidade hídrica quantitativa e qualitativa, tanto em mananciais superficiais quanto subterrâneos. Conforme Tomaz (2003), no Oriente Médio, a leste do Mar Morto, existe uma das inscrições mais antigas do mundo, a Pedra Moabita, a qual se encontra escrita em linguagem cananita, datada de 830 a.C. Nesta pedra, o rei Mesha dos Moabitas sugeria a construção de reservatórios individuais de captação pluvial nas residências.

Conforme Gnadlinger (2000), no planalto de Loess, território chinês localizado na província de Gansu, notava-se a existência de cacimbas e tanques para águas pluviais há dois mil anos atrás. Um projeto denominado “Sabedoria prestes a desaparecer” (Dying Wisdom), existente na Índia, descreve várias experiências tradicionais de coleta de água pluvial em quinze diferentes zonas ambientais existentes no país. No Irã, encontram-se os sistemas tradicionais de captação da água de chuva comunitário, denominados Abanbars.

Ainda segundo o mesmo autor, a realização dos povos Mayas pode ser visualizada ainda nos dias atuais, mais precisamente ao sul da cidade de Oxkutzcab, ao pé do Monte Puuc. No século X, neste local existia a agricultura alicerçada na colheita de água das chuvas, enquanto os habitantes moravam em encostas e obtinham água potável por meio de cisternas, as quais tinham capacidade entre 20.000 a 45.000 litros, sendo denominadas Chultuns, conforme ilustrado pela Figura 3.

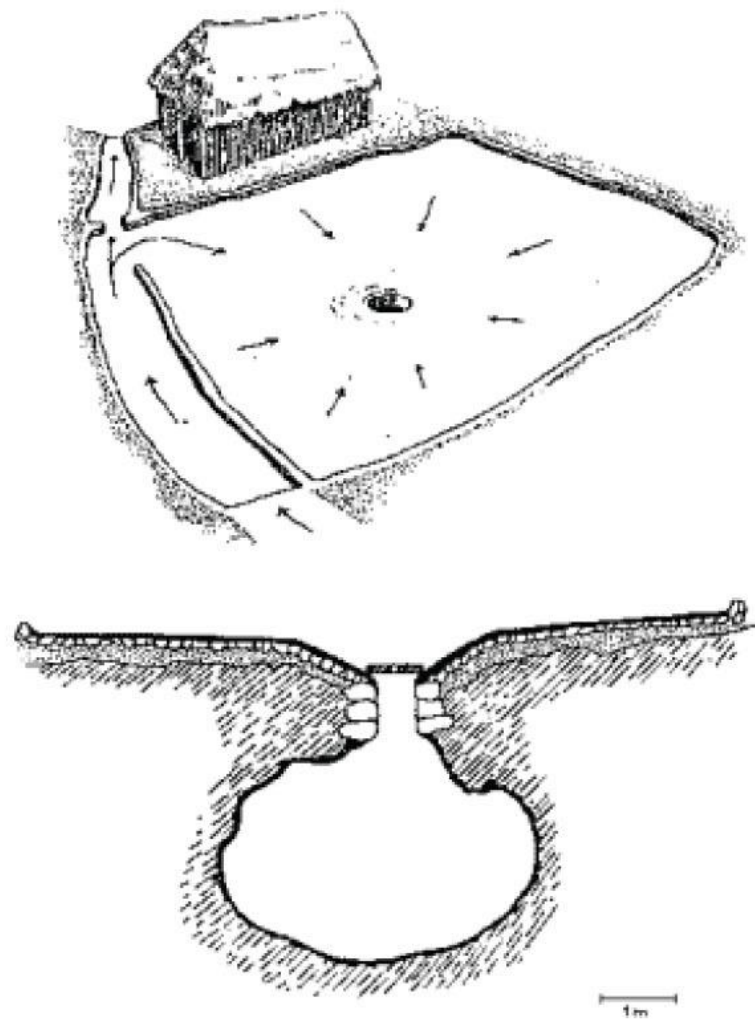


Figura 3 - Cisterna do povo Maya, denominada Chultun.
 Fonte: Neugebauer apud Gnadlinger (2000).

Segundo Bertolo (2006), em Portugal, localizados na cidade de Tomar, encontram-se o castelo e o convento dos Templários, ambos construídos no ano de 1160, os quais eram abastecidos pelas águas pluviais, contando com dois reservatórios para armazenamento, sendo um de 145 m³ e o outro de 215 m³. Ainda nos dias atuais, as águas pluviais são consideradas águas residuárias pela legislação portuguesa, as quais normalmente são coletadas pelas calhas e conduzidas para o nível inferior pelos tubos de queda, sendo finalmente destinadas, pelos coletores, até o coletor municipal.

No México, a península de Iucatã apresenta reservatórios que datam da época anterior em que Cristóvão Colombo chegou a América, os quais ainda permanecem em uso nos dias atuais. No ano de 1885, em Monturque, Roma, foram encontrados doze reservatórios subterrâneos com entrada superior, possuindo cada unidade a largura de 3,08 m, comprimento

de 6,65 m e altura de 4,83 m, contabilizando 98,93 m³, no total de 1.187 m³, sendo aplicado para abastecimento público (TOMAZ, 2003).

De acordo com Anecchini (2005), conforme as civilizações foram se desenvolvendo, a prática de aproveitamento pluvial passou a entrar em gradativo desuso, motivada pelo crescimento contínuo da demanda hídrica em grandes centros urbanos, conduzindo à implantação de sistemas de abastecimento público. Entretanto, a aplicação desta prática voltou a vigorar nos dias atuais, integrando a gestão moderna das cidades em países desenvolvidos, sendo amplamente empregada em territórios asiáticos e europeus para consumo em residências, indústrias e na agricultura.

Os principais relatos descrevem que a instalação de aproveitamento pluvial mais antiga existente no Brasil data do ano de 1943, construída por norte americanos da ilha de Fernando de Noronha, sendo utilizada ainda nos dias atuais. Demais usos da prática se voltam para o semiárido brasileiro, passando a englobar programas socioambientais elaborados por instituições governamentais e não governamentais (GIACCHINI, 2010). Conforme Fendrich (2002), a utilização do aproveitamento de águas pluviais se desenvolve desde a antiguidade, ao passo que, atualmente, diversos países realizam esta prática. Em face da escassez, os experimentos de coleta de umidade atmosférica em lonas merecem destaque, os quais foram desenvolvidos em 1988 nos territórios de Lachay e Atiquipa, localizados na cordilheira dos Andes, costa Peruana.

Na última década, sendo visualizado um crescente interesse pela prática de aproveitamento pluvial, vários estados, agências municipais e regionais passaram a adotar ou alterar critérios para incentivo de práticas responsáveis e efetivas de aproveitamento pluvial (EPA, 2013). Os avanços tecnológicos e científicos ainda contribuirão substancialmente para readequar o aproveitamento pluvial às condições atualmente existentes, possibilitando o emprego eficiente desta prática como fonte principal de suprimento ou como alternativa complementar (CARVALHO, 2014).

Segundo May (2009), países industrializados como Japão e Alemanha se encontram bastante comprometidos em favor da utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, considerando-se finalidades não potáveis. O Japão apresenta grande número de sistemas de aproveitamento pluvial, fato explicado pelo incentivo financeiro governamental para aplicação deste tipo de projeto, além da elaboração de regulamentos que obrigam os construtores a realizarem a captação de água de chuva exclusivamente para terrenos com área maior que 10.000 m² ou área edificada superior a 3.000 m² (YOSHINO, 2012).

Herrmann e Schmida (1999) citam que na Alemanha, o aproveitamento pluvial através de sistemas de canalizações em residências, edificações públicas e indústrias possui uma tradição bastante recente, desenvolvida por cidadãos ambientalmente conscientes durante os últimos quinze ou vinte anos. A intenção foi poupar a água potável e extinguir a sua utilização para descargas sanitárias, substituindo este recurso pela captação de águas escoadas pelas coberturas. O comércio de produtos relacionados ao uso de águas pluviais apresenta crescimento, ampliando a importância econômica da prática em questão.

Na Austrália, a implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais possibilita obter uma economia de 45% de todo o consumo de água residencial, enquanto na agricultura a economia pode chegar a 65% do volume total consumido. Neste país, existem regras para a utilização da água, sendo considerados cinco níveis de restrição do uso da água, e em caso de desobediência, multas elevadas são aplicadas aos usuários (RODRIGUES, 2010).

Nos Estados Unidos, a construção de sistemas de captação e armazenamento pluvial é incentivada pela concessão de benefícios aos usuários, sendo as águas coletadas utilizadas para lavagem de sanitários, veículos, refrigeração, irrigação de jardins e hortas. O estado do Texas se destaca pelos incentivos à prática de aproveitamento de água da chuva, destacando-se a cidade de Austin, a qual fornece cerca de US\$500 para proprietários que implantarem sistemas de coleta pluvial, enquanto na cidade de San Antonio são oferecidos US\$200 pela economia de 1230 m³ da rede pública, durante o período de dez anos (TOMAZ, 2003).

3.4 LEGISLAÇÃO REFERENTE AO APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

O aproveitamento de águas pluviais no país se desenvolve há algumas décadas, principalmente em áreas onde a disponibilidade hídrica (superficial ou subterrânea) é afetada por fenômenos naturais, como o clima semiárido, ou em locais que apresentam ausência de mananciais superficiais ou subterrâneos. Apesar de já utilizar a técnica de captação pluvial por um período considerável, somente em 2007 foi promulgado o primeiro aparato legal referente ao aproveitamento de águas pluviais no país, a NBR 15527/2007, intitulada “Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos”.

Tal norma, realizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), visa regulamentar a utilização não potável das águas pluviais, como uso em descargas sanitárias, irrigação de gramados e plantas, lavagem de veículos, limpeza de calçadas, limpeza de pátios e usos industriais, mediante a aplicação de tratamento adequado. Para a concepção de um sistema de aproveitamento pluvial, esta norma cita as condições do sistema e constituintes, sendo eles: calhas e condutores, reservatórios, instalações prediais, qualidade da água e bombeamento.

A respectiva norma apresenta, em seu conteúdo, as referências normativas úteis para a sua aplicação, os termos e definições relacionados à prática de aproveitamento pluvial, as condições gerais para concepção de um sistema de aproveitamento pluvial, a frequência de manutenção a ser realizada no sistema e as metodologias de cálculo para dimensionamento dos reservatórios. De forma a entender os recursos e processos envolvidos, os termos e definições são descritos a seguir:

- a) Água de chuva: água resultante de precipitações atmosféricas coletada em coberturas, telhados, onde não haja circulação de pessoas, veículos ou animais;
- b) Água não potável: água que não atende à Portaria nº 518 do Ministério da Saúde;
- c) Área de captação: área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada;
- d) Coeficiente de escoamento superficial (coeficiente de Runoff – C): coeficiente que representa a relação entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado, variando conforme a superfície;
- e) Conexão cruzada: qualquer ligação física através de peça, dispositivo ou outro arranjo que conecte duas tubulações das quais uma conduz água potável e a outra água de qualidade desconhecida ou não potável;
- f) Demanda: consumo médio (mensal ou diário) a ser atendido para fins não potáveis;
- g) Escoamento inicial: água proveniente da área de captação suficiente para carregar a poeira, fuligem, folhas, galhos e detritos;
- h) Suprimento: fonte alternativa de água para complementar o reservatório de água de chuva.

Considerando-se os diversos danos provocados pelas enchentes na área urbana e considerando a necessidade de adoção de práticas racionais de uso da água, foi promulgada em São Paulo a Lei Municipal nº 16.402, de 22 de março de 2016, a qual visa disciplinar o parcelamento, uso e ocupação do solo, fundamentada no Plano Diretor Estratégico (PDE). Esta Lei cita, em seu artigo 80, a obrigatoriedade de armazenar águas pluviais para fins não potáveis em novas edificações ou em edificações reformadas com alteração de 20% da área construída, considerando-se lotes com área superior a 500 m².

No estado de São Paulo, foi promulgada a Lei Estadual nº 12.526, de 02 de janeiro de 2007, a qual estabelece normas para minimização das enchentes e destinação das águas pluviais, obrigando a implantação de um sistema de captação e retenção de águas pluviais coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos, em lotes edificados ou não com área impermeabilizada superior a 500 m². A obrigatoriedade de implantação deste sistema apresenta como objetivos:

- a) Redução da velocidade do escoamento superficial para bacias hidrográficas urbanas, com alto coeficiente de impermeabilização do solo e dificuldade de drenagem;
- b) Controle da ocorrência de inundações, amortecer e minimizar os problemas das vazões de cheia e consequentes prejuízos;
- c) Contribuição para a redução do consumo e o uso adequado da água potável tratada.

Na cidade do Rio de Janeiro, devido à necessidade de evitar inundações e ao potencial de aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis, foi instituído o Decreto nº 23.940, de 30 de janeiro de 2004, o qual torna obrigatória a instalação de reservatórios em empreendimentos que apresentem área impermeabilizada superior a 500 m², objetivando retardar o escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem.

O decreto acima citado, em seu artigo 4º, descreve que deverão ser atendidas as normas sanitárias vigentes e as condições técnicas específicas sempre que houver a reutilização das águas pluviais para fins não potáveis. As normas e condições estabelecidas pelo órgão responsável de vigilância sanitária no município buscam evitar o consumo indevido, garantir padrões de qualidade da água compatíveis com os usos propostos e impedir a contaminação do sistema predial destinado a fornecer água potável proveniente da rede pública.

A Lei Ordinária nº 10.785, de 18 de setembro de 2003, promulgada no município de Curitiba, regulamentada pelo Decreto nº 293/2006, cria o Programa de Conservação e Uso Racional da água nas Edificações (PURA), tendo como objetivos incentivar a conservação, o uso racional e a utilização de fontes alternativas para captação de água pluvial em novas edificações, conscientizando os usuários a respeito da importância da adoção das práticas de conservação da água.

A lei acima, em seu artigo 7º, estabelece que as águas pluviais captadas nas coberturas das edificações deverão ser encaminhadas a uma cisterna ou tanque, sendo posteriormente utilizadas em atividades que não demandem água potável da rede pública de abastecimento, tais como rega de jardins e hortas, lavagem de roupas, lavagem de veículos e lavagem de vidros, calçadas e pisos.

O município de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul, instituiu o Programa de conservação, Uso racional e Reaproveitamento das águas nas edificações por meio da Lei nº 5898 de 2012, a qual cita que as águas de chuva deverão ser captadas nas coberturas e encaminhadas para cisternas ou tanques, de forma a possibilitar sua utilização em atividades que não requeiram o consumo de água potável proveniente do serviço de abastecimento público de água, tais como lavagem de roupas, vidros, calçadas, veículos e irrigação de hortas e jardins.

A Lei Ordinária nº 8678 de 2010, sancionada no município de Poços de Caldas, instituiu a criação do Programa Municipal de Conservação, Uso Racional e Reutilização de Água em Edificações, o qual abrangerá novas construções de interesse social das esferas governamentais e edificações públicas municipais que vierem a ser construídas, reformadas ou ampliadas, sendo posteriormente realizada a implantação de sistemas economizadores de água.

O Programa Municipal de Conservação, Uso Racional e Reutilização de Água em Edificações, conforme cita o artigo 2º, apresenta como objetivos:

- a) Implantação de medidas que induzam os habitantes do município à prática de conservação e uso racional da água, à reutilização de águas servidas e à utilização de água de chuva;
- b) Promoção da conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água;
- c) Incentivar os proprietários à adoção das atividades relacionados no artigo 4º desta lei, englobando imóveis novos ou já existentes;

A lei de implantação do Programa Municipal ainda cita o âmbito de alcance deste projeto conforme preconizado no parágrafo anterior, aplicando-se as seguintes ações, conforme descrito no artigo 4º:

- a) uso racional de água, que deverá ser entendido como o conjunto de ações que permitam economia de água e um eficiente combate ao desperdício de água potável, pelo uso abusivo e redução de perdas de vazamento em edificações e demais áreas;
- b) conservação, que deve ser entendida como o conjunto de ações que não permitam a degradação das águas superficiais e subterrâneas, contaminação do subsolo e dos corpos d'água por pesticidas e contaminantes (metais pesados), destruição das matas ciliares e das áreas de recarga dos aquíferos, lançamentos indevidos nas galerias de águas pluviais, entre outros;
- c) aproveitamento de água de chuva, que deverá ser entendido como o conjunto de ações que possibilitem a captação, reservação, tratamento, monitoramento da qualidade e distribuição para o uso em aplicações/atividades menos nobres, tais como irrigação e lavagem de pisos;
- d) reuso de águas servidas, que deve ser entendido como reutilização das águas que já foram utilizadas primeiramente em tanques, máquinas de lavar, chuveiros e banheiras, para utilização em atividades menos nobres, compatíveis com as características dessas águas servidas, envolvendo a captação, coleta, tratamento, monitoramento da qualidade, distribuição e manutenção;
- e) incentivar o reuso das águas provenientes de estações de tratamento de esgoto, para aplicações compatíveis, tais como limpeza de ruas, galerias, bueiros, redes de esgoto e atividades industriais compatíveis.

Mesmo diante da necessidade de se implementar aparatos legais que padronizem a qualidade das águas pluviais e incentivem a utilização racional da água, o país caminha rumo ao desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, possibilitando, futuramente, suscitar o aproveitamento pluvial em residências sem incorrer em riscos de uso pela população.

3.5 METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PLUVIAIS

Durante a implantação de sistemas de aproveitamento pluvial, a etapa de dimensionamento de reservatórios de armazenamento constitui uma das tarefas mais complexas, a qual normalmente compatibiliza análises de demanda hídrica, área de captação considerada e disponibilidade pluvial. Conforme o volume dimensionado para o reservatório e as condições locais, o armazenamento pluvial poderá ser implementado para atendimento da demanda em períodos curtos, médios ou longos de estiagem (MAY, 2009). Quando os sistemas de aproveitamento são aplicados a residências, visualiza-se a necessidade de uma avaliação estrutural preliminar, de forma a definir a capacidade estrutural das residências a um determinado volume de reservatório e a disponibilidade espacial para acomodação do respectivo componente.

O reservatório de armazenamento, quando superdimensionado, pode acarretar em uma grande ocupação do espaço no terreno, custos iniciais e de manutenção elevados, podendo ainda afetar a qualidade da água pluvial coletada pelo alto período de armazenamento (SIQUEIRA CAMPOS, 2012). De outro modo, um tanque subdimensionado pode ser preenchido ou ter seu volume esvaziado frequentemente, podendo ocasionar abastecimento insuficiente de água para a residência (LI et al., 2010).

Dentre os constituintes de um sistema de aproveitamento pluvial, o reservatório de armazenamento se destaca por constituir o elemento de maior custo do sistema de aproveitamento, partindo daí a necessidade da estimativa correta deste componente. A NBR 15527/2007 cita algumas metodologias de dimensionamento dos reservatórios para armazenamento da água pluvial, as quais são: Método de Rippl, Método da Simulação, Método Azevedo Neto, Métodos Práticos Alemão, Inglês e Australiano.

3.5.1 Método de Rippl

O Método de Rippl, ou Método do Diagrama de Massas, é um processo metodológico de dimensionamento muito difundido em todo o território brasileiro, sendo um dos métodos mais utilizados pelos projetistas de sistemas de aproveitamento pluvial, justificando-se tal assertiva pela sua facilidade e simplicidade de aplicação. Frequentemente, utiliza-se uma série

histórica de precipitações mensais de maior grandeza possível para empregar o Método de Rippl, e desta forma, os volumes precipitados passam a constituir as vazões que preencherão o reservatório pluvial (TOMAZ, 2003).

Em sistemas de aproveitamento pluvial, a aplicação da respectiva metodologia geralmente resulta em um reservatório superdimensionado, a qual apresenta eficiência satisfatória quando se busca analisar o limite superior do reservatório de acumulação pluvial. Na etapa de dimensionamento, inicialmente, considera-se que o reservatório de armazenamento apresenta volume total de preenchimento e que a retirada de água do sistema é supostamente constante (VERÇOSA, 2014).

Segundo Silva (2014) o Método de Rippl apresenta como fundamento o cálculo de um volume de armazenamento baseado na área de captação e nos dados de precipitação existentes, devendo ainda ser considerado que nem todo o volume pluvial pode ser reservado. A parcela armazenada se relaciona com o consumo estimado, sendo calculado o volume pelas seguintes expressões:

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

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad (2)$$

$$V = \sum S_{(t)} \quad (3)$$

somente para valores $S_{(t)} > 0$.

Sendo que: $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$. Onde:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t;

$Q_{(t)}$ = volume de chuva aproveitável no tempo t;

$D_{(t)}$ = demanda ou consumo no tempo t;

V = o volume do reservatório;

C = coeficiente de escoamento superficial.

3.5.2 Método da Simulação

O Método da Simulação abrange as variações do volume de armazenamento em função do volume de água pluvial captável e da demanda hídrica considerada. O volume de água da chuva captável é obtido pela multiplicação entre a área de captação superficial disponível, coeficiente de escoamento superficial adotado (coeficiente de runoff) e o índice pluviométrico do local a ser analisado. Neste método, os índices pluviométricos podem ser diários ou mensais, considerando-se períodos de um ou mais anos (MARCONI, 2013).

Conforme Tomaz (2003) o Método da Simulação constitui o melhor método existente para avaliação de um reservatório, no qual se considera um volume hídrico específico, e a partir disto, verifica-se o que ocorre com a quantidade de água que sobra e a que falta. Nesta metodologia, a evaporação da água não é levada em conta, aplicando-se, desta forma, a Equação da Continuidade a um reservatório finito para determinado período de análise, conforme a seguinte expressão:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (4)$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad (5)$$

Sendo que: $0 < S_{(t)} < V$. Onde:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t;

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo t-1;

$Q_{(t)}$ = volume de chuva no tempo t;

$D_{(t)}$ = consumo ou demanda no tempo t;

V = volume do reservatório fixado;

C = coeficiente de escoamento superficial.

3.5.3 Método Azevedo Neto

A presente metodologia se constitui de um método prático que tem o propósito de obter um volume de reservação diretamente de uma equação, desconsiderando-se a demanda

hídrica, sendo aplicados 3 parâmetros: precipitação média anual, área de coleta disponível e meses de pouca precipitação ou seca. A norma NBR 15527 não especifica a forma de obtenção dos meses característicos de baixa precipitação (RUPP et al., 2011) .

De forma a contornar tal limitação, Dornelles et al. (2010) apresentam uma recomendação para definir os meses com pouca ou nenhuma chuva, na qual são contabilizados os meses que apresentam precipitação média inferior a 100 mm, e para localidades onde a precipitação sempre supera tal valor, recomenda-se adotar o mínimo de 1 mês.

O volume de chuva aproveitável ou volume dimensionado do reservatório é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 P \times A \times T \quad (6)$$

onde:

P= valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros;

T= valor numérico do numero de meses de pouca chuva ou seca;

A= valor numérico da área de coleta em projeção (m²);

V= valor numérico do volume de água aproveitável e volume do reservatório (Litros).

Giacchini (2010) cita que o Método Azevedo Neto, também denominado Método Prático Brasileiro, estipula um valor máximo de aproveitamento de 50% da precipitação anual, em face do escoamento superficial e perdas no sistema. Assim, a fração mensal corresponde a um coeficiente de segurança para aproveitamento de 50% da precipitação anual, conforme expressão:

$$50\% \times P_{ANUAL}/12 \text{ meses} = 0,042 P_{ANUAL} \quad (7)$$

3.5.4 Métodos Práticos

Os Métodos Práticos são estimados por meio de valores aproximados, inexistindo grande quantidade de variáveis quando comparados a outros métodos de dimensionamento, constituindo fórmulas simplificadas que garantem uma rápida aproximação na capacidade

final do reservatório, a qual nem sempre se mostra a mais adequada (SACADURA, 2011). Desta forma, são apresentados os métodos práticos destacados pela NBR 15527, sendo eles o Método Prático Alemão, Inglês e Australiano.

3.5.4.1 Método Prático Alemão

Constitui um método empírico de estimativa da capacidade de armazenamento, no qual é considerado o volume do reservatório como o menor valor da relação entre o volume potencial de captação e o consumo de água, ambos aplicados a uma taxa de 6% (6% do consumo anual ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável). Além de considerar a área de captação disponível, tal método também engloba as características pluviométricas do município.

O volume dimensionado do reservatório pluvial é obtido por meio da seguinte equação:

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín} (V; O) \times 0,06 \quad (8)$$

ou

$$V_{\text{adotado}} = \text{mínimo} (\text{volume anual precipitado aproveitável e volume anual de consumo}) \times 0,06.$$

Onde:

V= valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual em litros (L);

D= valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);

V_{adotado} = valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

3.5.4.2 Método Prático Inglês

O Método Prático Inglês propõe o dimensionamento do reservatório pluvial pela inserção dos dados de precipitação média anual e área de captação pluvial em projeção, constituindo uma metodologia de fácil aplicação. Tal método se caracteriza pela origem empírica, desconsiderando períodos de seca em sua formulação e fixando um coeficiente de

segurança equivalente a fração mensal de 60% de aproveitamento ($60\% \times P_{ANUAL}/12 \text{ meses} = 0,05 P_{ANUAL}$) da precipitação média anual.

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (9)$$

Onde:

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

A= 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 (L).

3.5.4.3 Método Prático Australiano

O Método Prático Australiano se caracteriza como o método de maior praticidade, pois possibilita a análise de uma base de dados mais extensa, proporcionando a obtenção de resultados e conclusões específicas a cenários variados, diferentemente do que ocorre em outros métodos de dimensionamento (SILVA, 2014).

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (10)$$

Onde:

C= coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,8;

P= precipitação média mensal;

I= interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm;

A= área de coleta;

Q= volume mensal produzido pela chuva.

Neste método de dimensionamento, o volume do reservatório de armazenamento é realizado por tentativas, até que se obtenham valores de confiança e volume do reservatório.

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (11)$$

Onde:

Q_t = volume mensal produzido pela chuva no mês t ;

V_t = volume de água que está no tanque no fim do mês t ;

V_{t-1} = o volume de água que está no tanque no início do mês t ;

D_t = demanda mensal;

Nota: O reservatório é considerado vazio no primeiro mês. Quando $V_{t-1} + Q_t - D < 0$, então o $V_t = 0$. O volume do tanque escolhido será T .

$$\text{Confiança: } P_f = N_f/N \quad (12)$$

Onde:

P_f = falha do sistema;

N_f = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_t = 0$.

N = numero de meses considerado, geralmente 12 meses;

Confiança = $(1 - P_f)$

Recomenda-se que os valores da confiança estejam entre 90% e 99%.

3.6 CUSTO DOS RESERVATÓRIOS

Em sistemas de aproveitamento de águas pluviais, além de constituir um dos elementos mais importantes, o reservatório de armazenamento é o componente que apresenta maior custo de aquisição, havendo a necessidade do dimensionamento correto deste item de forma a evitar problemas relacionados a viabilidade econômica e operacional do sistema. A etapa de dimensionamento do reservatório engloba alguns critérios fundamentais, sendo eles: custos totais de implantação, área de captação pluvial disponível, consumo de água, confiabilidade do sistema e índice pluviométrico do local analisado. Em aplicações

residenciais, as dimensões do reservatório podem constituir fator limitante tanto pela disponibilidade espacial reduzida quanto pelo suporte estrutural restrito, podendo inviabilizar a prática de aproveitamento pluvial.

De acordo com Siqueira Campos (2004), diversos materiais podem ser utilizados para construção de cisternas, como plásticos, fibra de vidro, concreto, argamassa armada, alvenaria, madeira e ferro galvanizado, apresentando importância na estimativa dos custos do sistema e na garantia da qualidade mínima requerida. Além dos aspectos econômicos e técnicos, a definição do tipo de reservatório se relaciona a alguns fatores, como a resistência do material de composição, facilidade de transporte do reservatório, alterações da qualidade da água armazenada e periodicidade necessária de limpeza.

Considerando-se estudo realizado por Tomaz (2009), os custos médios da construção de um reservatório de concreto armado, por metro cúbico de água de chuva, varia entre US\$ 107/m³ a US\$ 178/m³, e para reservatório apoiado de PVC ou fibra de vidro entre US\$ 105/m³ a US\$ 137/m³, incluídos custos relativos a demais componentes do sistema, como a base de concreto, tubos de entrada e descarga, bomba centrífuga flutuante e instalação elétrica. A Tabela 2 apresenta os custos (em US\$) dos reservatórios de armazenamento pluvial, em relação ao volume, construídos em cimento com fibras e cimento amianto.

Tabela 2 – Custos dos reservatórios pluviais produzidos em cimento.

Reservatórios	Volume (Litros)	Valor (US\$)
Cimento reforçado com fibras	500	58,5
Cimento reforçado com fibras	1000	121
Cimento amianto	500	116
Cimento amianto	750	154
Cimento amianto	1000	154

Fonte: Adaptado de Tomaz (2009).

Os reservatórios em fibra de vidro cilíndricos são produzidos em volumes que variam de 500 a 15000 litros de armazenamento, apresentando custos de aquisição consideravelmente reduzidos, conforme pode ser visualizado pela Tabela 3.

Tabela 3 – Custo dos reservatórios de fibra de vidro cilíndricos.

Volume (Litros)	Custo (US\$)
500	69
1000	117
1500	160
3000	294
6000	576
15000	1435

Fonte: Adaptado de Tomaz (2009).

Em estudo realizado por Marinoski e Ghisi (2008), foram demonstrados valores relativos aos custos de reservatórios de fibra de vidro, apresentando custo de R\$ 560,50 para reservatório de 3000 litros, enquanto um reservatório de 15000 litros foi orçado em R\$ 2383,00. A fibra de vidro constitui um dos materiais mais comumente empregados em instalações contemporâneas de reservatórios, resultando em um elemento bastante leve e de alta durabilidade, apresentando custos razoáveis de aquisição e adequabilidade para armazenamento de água destinada a fins potáveis (BERTOLO, 2006).

4 METODOLOGIA - MODELAGEM TEÓRICA DA PRÁTICA DE APROVEITAMENTO PLUVIAL

A sistemática metodológica desta pesquisa foi iniciada pela análise quantitativa da demanda não potável e caracterização da disponibilidade hídrica pluvial, utilizando-se dados de demanda per capita diária e dados pluviométricos do município, respectivamente. Posteriormente, foram aplicados modelos de dimensionamento de reservatórios para sistemas de aproveitamento pluvial residenciais, considerando-se o suprimento da demanda mensal, anual e em períodos de disponibilidade reduzida, sendo aplicado a este último o Método de Rippl. Os períodos de disponibilidade reduzida foram considerados característicos de déficit hídrico. Em seguida, foi desenvolvido um modelo matemático pela adequação da Equação da Continuidade, o qual insere o controle da demanda hídrica para dimensionamento de reservatório residencial mínimo. No método proposto, inseriu-se o conceito de reservação prioritária, ou seja, manutenção de um volume hídrico a ser obrigatoriamente armazenado para suprimento da demanda prioritária.

4.1 DEMANDA RESIDENCIAL NÃO POTÁVEL E DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Anteriormente a aplicação dos modelos propostos, o presente tópico apresenta a metodologia de estimativa da demanda residencial não potável e disponibilidade hídrica pluvial.

Demanda Residencial não Potável

Nesta etapa, a parcela do consumo hídrico a ser analisada corresponde a demanda residencial não potável, a qual apresenta potencial de suprimento pelo volume pluvial coletado e armazenado. A definição do percentual não potável foi baseada nos seguintes usos residenciais: descargas em bacias sanitárias, lavagem de veículos e lavagem de pátios, sendo os parâmetros definidos conforme as faixas ilustradas pela Tabela 4. A escolha dos

respectivos usos se justifica pela possibilidade em definir os valores a partir de levantamentos bibliográficos, uma vez que estes não poderiam ser obtidos, já que a atual pesquisa se caracteriza por uma análise teórica.

Tabela 4 - Parâmetros de engenharia e respectivos valores adotados.

Parâmetros	Unidades	Valores - Faixa
Descarga em bacias	descarga/hab/dia	4 a 6
Volume por descarga	litros/descarga	6,8 a 18
Lavagem de carros	litros/lavagem/carro	150
Lavagem - frequência	lavagem/mês	4
Limpeza de pátios	litros/m ² /dia	2
Limpeza - frequência	limpeza/semana	1 a 2

Fonte: Adaptado de Tomaz (2003).

Além da definição dos usos residenciais, evidencia-se a necessidade de se considerar aspectos importantes para estimativa da demanda hídrica, como o número de habitantes por residência, período de análise, parcela não potável considerada, entre outros. Desta forma, a análise quantitativa da demanda não potável seria indispensável para avaliação do potencial de aproveitamento pluvial e para o dimensionamento de reservatórios em residências, partindo-se do pressuposto de que tal variável influencia diretamente nos volumes a serem armazenados.

Considerando-se a importância de se caracterizar a demanda não potável residencial para dimensionamento de reservatórios de armazenamento pluvial, calculou-se tal variável por meio da Equação 13.

$$D_{NP} = D_{PC} \times N \times P_{NP} \times Hab \quad (13)$$

Onde:

D_{NP} = Demanda não Potável (Litros);

D_{PC} = Demanda per Capita Diária (Litros/hab.dia);

N = Número de dias considerados (dias);

P_{NP} = Parcela do consumo não potável (adimensional);

Hab = Número de habitantes residenciais (habitante/residência).

A Parcela não potável (P_{NP}) representa o percentual hídrico de consumo correspondente a demanda não potável, tendo em vista sua definição a partir de valores previamente estabelecidos. Desta forma, buscando-se maior confiabilidade na execução desta etapa, e em vista da grande variabilidade numérica dos parâmetros de engenharia disponíveis em literatura, a parcela não potável considerada nesta pesquisa foi de trinta por cento (30%) do consumo hídrico residencial. A parcela adotada equivale ao valor máximo de economia obtido pela aplicação do aproveitamento pluvial, conforme aponta Tomaz (2003).

Disponibilidade Hídrica Pluvial

O município de Poços de Caldas recebe, segundo Köppen e Geiger (1928), a classificação climática de mesotérmico (Cwb), apresentando variações da precipitação anual entre 1300 e 1750 mm, constituindo o verão a estação mais chuvosa, podendo atingir até 80% do total precipitado anual, ou seja, 1400 mm de precipitação. O mês de janeiro se apresenta como o mês mais chuvoso para o município (PLANO DIRETOR, 2006).

A precipitação ocorre em maiores quantidades entre os meses de outubro a março, enquanto os meses de junho a agosto apresentam os menores índices de precipitação, conforme apresentado pela Figura 4.

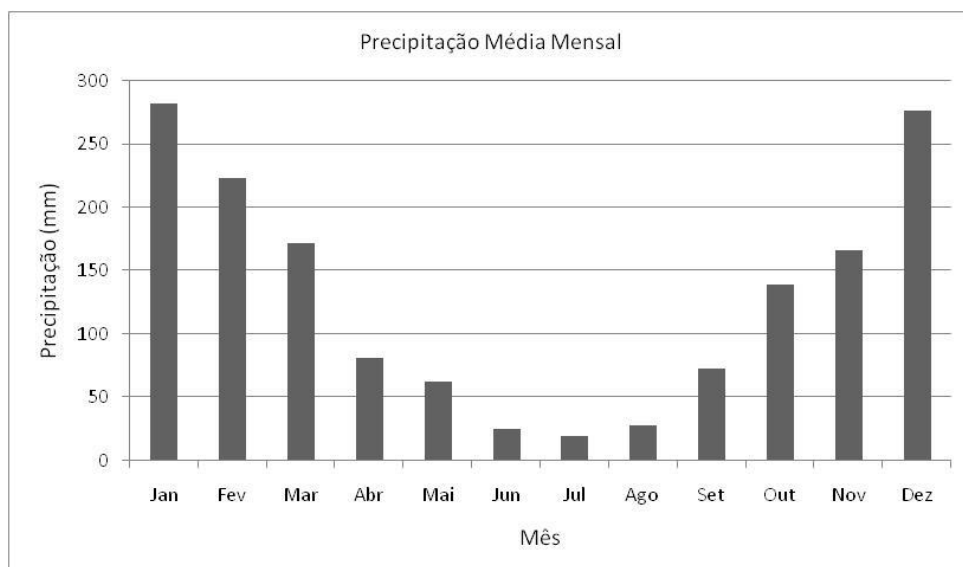


Figura 4 - Comportamento da precipitação mensal no município de Poços de Caldas. Fonte DME (2012).

Mesmo em locais que apresentam índices pluviométricos favoráveis, o volume pluvial a ser captado depende de alguns fatores, sendo eles o tamanho da área de captação disponível, o Coeficiente de escoamento superficial (C) estimado e as perdas totais do sistema. Devido a sua importância, tais fatores podem condicionar a aplicação de sistemas de aproveitamento pluvial, interferindo diretamente na viabilidade de implantação. Além dos fatores descritos, também podem interferir no processo de implantação as perdas totais do sistema, as quais ocorrem por processos naturais de evaporação ou pelo volume dispensado para limpeza das coberturas de captação. As perdas do sistema podem ou não incorporar o descarte do volume inicial de água pluvial coletada, denominado “First Flush”.

O Coeficiente de Aproveitamento Pluvial (C_{AP}) é uma variável que estabelece a parcela do volume de chuva precipitado passível de coleta e utilização para suprimento não potável, sendo armazenado no reservatório de armazenamento pluvial. Este coeficiente é estimado pela relação entre o Coeficiente de Escoamento Superficial (C) e o percentual aproveitável de precipitação, considerando-se a eliminação das perdas totais do sistema. O Coeficiente de Escoamento Superficial varia conforme o tipo de material da área de captação, enquanto as perdas dependem da existência de vazamentos, evaporação e descarte do First Flush.

Desta forma, o Coeficiente de Aproveitamento Pluvial (C_{AP}) foi estimado pela Equação 14.

$$C_{AP} = C \times (1 - I_P) \quad (14)$$

Em que:

C= Coeficiente de Escoamento Superficial (adimensional).

I_P = Índice de Perdas do sistema (adimensional).

O Potencial de Aproveitamento Pluvial (P_{AP}) corresponde ao volume pluvial disponível para armazenamento em sistemas de aproveitamento pluvial. Em grande parte dos sistemas de águas pluviais, verifica-se a necessidade de realizar o tratamento preliminar da água, o qual varia em função da qualidade da água pluvial obtida e suas respectivas aplicações, tornando-a finalmente adequada para o suprimento dos usos considerados. O Potencial de Aproveitamento Pluvial é obtido pela relação entre a Precipitação Média Mensal (P), o Coeficiente de Aproveitamento Pluvial (C_{AP}) e a Área de Captação (A), conforme Equação 15:

$$P_{AP} = P \times C_{AP} \times A \quad (15)$$

Em que:

P_{AP} = Potencial de Aproveitamento Pluvial (Litros);

P = Precipitação Média Mensal (mm);

C_{AP} = Coeficiente de Aproveitamento Pluvial (adimensional).

A = Área de captação pluvial (m²).

Considerando-se a análise da disponibilidade hídrica mensal, foram aplicados os valores de precipitação média mensal referentes ao período de 1941 a 2011, obtidos pela coleta dos dados da publicação “Projeto de instalação de estações hidrométricas em atendimento à resolução conjunta 03/2010”, realizada pelo Departamento Municipal de Eletricidade de Poços de Caldas. Posteriormente, estabelecendo-se as perdas totais do sistema, foi definido o valor do Coeficiente de Aproveitamento Pluvial (C_{AP}) semelhante ao valor utilizado em estudo realizado por Mierzwa et al (2007), em face da impossibilidade de obtenção deste parâmetro para a presente pesquisa. Em posse dos dados de precipitação e valores do respectivo coeficiente, foi estimado o Potencial de Aproveitamento Pluvial (P_{AP}) para o município em estudo, possibilitando verificar a viabilidade de implantação de sistemas de aproveitamento pluvial em residências.

4.2 MODELO DE ARMAZENAMENTO MÁXIMO

Os métodos de estimativa dos reservatórios de armazenamento são fundamentalmente empíricos ou baseados na confiabilidade dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, prerrogativa que os torna extremamente conservadores, entendendo-se que não há necessidade de se considerar altos padrões de confiabilidade para sistemas instalados em centros urbanos, sendo as possíveis falhas remediadas pela utilização de água potável fornecida pela companhia de abastecimento (SAMPAIO, 2013).

O dimensionamento de sistemas de aproveitamento pluvial envolve aspectos relacionados aos índices pluviométricos locais, área de captação disponível e demanda hídrica considerada, além de englobar fatores de origem técnica e econômica, constituindo elementos

indispensáveis para estimativa adequada deste aparato. O volume do reservatório de armazenamento deve ser capaz de atender a uma demanda previamente definida, e simultaneamente, apresentar viabilidade de implantação em residências.

Nesta etapa, a estimativa do reservatório de armazenamento foi embasada no cálculo das demandas não potáveis mensal e anual, sendo considerado, no cenário inicial, o volume dimensionado do reservatório equivalente a demanda mensal não potável. No segundo cenário foi considerada a equivalência entre o volume de reservatório pluvial e a demanda não potável anual, obtida pelo somatório das demandas não potáveis mensais de janeiro a dezembro. Desta forma, apenas a demanda não potável foi analisada para dimensionamento do reservatório, eliminando-se uma análise baseada no balanço de vazões, ou seja, relação entre vazões de entrada e saída do sistema.

Modelo aplicado ao Período Mensal

Buscando-se garantir o suprimento do consumo residencial não potável pelo volume pluvial armazenado, os valores estimados para a Demanda Hídrica não potável (D_{NP}) e Volume do Reservatório Pluvial (V_R) foram considerados iguais, obtendo-se a garantia de fornecimento hídrico não potável (confiabilidade) equivalente ao período mensal, em caso da ausência de precipitações no respectivo período. Desta forma, a presente análise envolveu a aplicação de algumas variáveis, como demanda hídrica per capita do município de Poços de Caldas e número de dias correspondente ao mês analisado. Assim, o Volume do reservatório de armazenamento (V_R) foi calculado:

$$V_R = D_{NP} = D_{PC} \times P_{NP} \times N \times Hab$$

Modelo aplicado ao Período Anual

De forma a evitar insuficiência hídrica em períodos de baixa disponibilidade, foi dimensionado um reservatório pluvial capaz de suprir a demanda não potável anual, considerando-se a equivalência entre volume do reservatório pluvial e demanda não potável

anual, obtendo-se a confiabilidade de suprimento do sistema equivalente ao mesmo período. Na presente etapa, o balanço de vazões de entrada e saída, ou seja, a diferença entre disponibilidade e demanda não potável não foi considerada, evitando-se, assim, incertezas relacionadas a possíveis efeitos negativos da sazonalidade.

O efeito adverso considerado foi aquele característico da situação mais extrema, ou seja, a ausência de precipitações durante maior parte do ano (9 a 11 meses), sendo obtido o suprimento a partir do mês ou período inicial de alta disponibilidade (janeiro a março), capaz de realizar o preenchimento do reservatório. Desta forma, considerou-se o volume do reservatório equivalente ao somatório das demandas não potáveis mensais de janeiro a dezembro, obtendo-se, assim, a demanda não potável anual, conforme Equação 16.

$$V_R = \Sigma D_{NP} \quad (16)$$

4.3 MODELO DE RESERVA DO PERÍODO CHUVOSO (MÉTODO DE RIPPL)

Considerando-se a necessidade de suprimento da demanda hídrica não potável durante todo o ano, e em decorrência dos menores índices de precipitação no período crítico (junho a agosto), foi estimado um volume de reservatório para atendimento da demanda hídrica residencial. Aplicou-se o Método de Rippl para dimensionamento do reservatório pluvial, justificando-se tal escolha por constituir o método mais difundido em todo o país e pela simplicidade de aplicação. Para a realização do presente método, foi considerado o balanço de vazões de entrada e saída do sistema, ou seja, a diferença entre demanda não potável e disponibilidade pluvial, a qual foi denominada Déficit Hídrico Mensal (D_{HM}), conforme descrito pela Equação 17.

$$D_{HM} = D_{NP} - P_{AP} \quad (17)$$

Os valores de Déficit Hídrico Mensal a serem considerados para dimensionamento do reservatório foram aqueles que apresentaram, exclusivamente, balanço hídrico positivo, retratando situações em que a Demanda não Potável apresentou valores superiores ao Potencial de Aproveitamento Pluvial, obedecendo à seguinte condição: $D_{HM} > 0$. Assim, o

volume do reservatório de armazenamento foi estimado pelo somatório dos Déficits Hídricos Mensais, conforme Equação 18.

$$V_R = \Sigma D_{HM} \quad (18)$$

4.4 MODELO DE REPRESSÃO DA DEMANDA HÍDRICA

A gestão da demanda hídrica apresenta grande importância para a implantação de sistemas de aproveitamento pluvial, principalmente quando esta se aplica ao dimensionamento de um sistema pluvial residencial. Este tipo de sistema apresenta maiores limitações para implantação, como espaço físico restrito, suporte estrutural limitado, entre outros, quando comparado a sistemas implantados em indústrias ou em estabelecimentos rurais. Assim, foi proposta a aplicação do Coeficiente de Repressão da Demanda ($\alpha_{EFETIVO}$) para dimensionamento de reservatório de águas pluviais, adequando-se a Equação da Continuidade, de forma a obter um volume mínimo de reservatório pluvial para sistemas residenciais.

A aplicação deste coeficiente envolve a manutenção ou repressão da demanda hídrica não potável de acordo com a disponibilidade atual, a qual se baseia em outros dois coeficientes: o Coeficiente de Demanda Hídrica Mínima ($\alpha_{MÍNIMO}$) e o Coeficiente de Aproveitamento Pluvial Teórico ($\alpha_{TEÓRICO}$). O Coeficiente de Repressão da Demanda assume valores de acordo com as condições descritas pela Tabela 5.

O Coeficiente de Aproveitamento Pluvial Teórico ($\alpha_{TEÓRICO}$), obtido pela Equação 19, relaciona o Potencial de Aproveitamento Pluvial e a Demanda Hídrica não potável do período considerado, possibilitando identificar situações de alta disponibilidade hídrica e situações de disponibilidade insuficiente, considerando-se o suprimento de determinada demanda hídrica. Tal variável apresenta grande importância no método de dimensionamento proposto, apontando ou não a necessidade de aplicação do volume armazenado para garantia do consumo prioritário.

$$\alpha_{TEÓRICO} = P_{AP} / D_{NP} \quad (19)$$

Por sua vez, o Coeficiente de Demanda Hídrica Mínima ($\alpha_{\text{MÍNIMO}}$), obtido pela Equação 20, representa o percentual a ser garantido para suprimento da Demanda Prioritária (D_P), a qual corresponde ao consumo em descargas sanitárias. O Coeficiente de Demanda Hídrica Mínima estabelece um patamar mínimo a ser obedecido na etapa de dimensionamento do reservatório pluvial, influenciando diretamente na capacidade estimada por condicionar um suprimento permanente, ou seja, o sistema deve ser capaz de suprir o consumo prioritário durante todo o período analisado.

$$\alpha_{\text{MÍNIMO}} = D_P / D_{\text{NP}} \quad (20)$$

Tabela 5 - Faixa de valores adotados para o Coeficiente de Repressão da Demanda.

Condição	Valores
$\alpha_{\text{TEÓRICO}} < \alpha_{\text{MÍNIMO}}$	$\alpha_{\text{EFETIVO}} = \alpha_{\text{MÍN}}$
$\alpha_{\text{MÍNIMO}} \leq \alpha_{\text{TEÓRICO}} \leq 1$	$\alpha_{\text{EFETIVO}} = \alpha_{\text{TEÓRICO}}$
$\alpha_{\text{TEÓRICO}} \geq 1$	$\alpha_{\text{EFETIVO}} = 1$

Fonte: Autor.

Como pode ser observado pela Tabela 5, o Coeficiente de Repressão da Demanda apresenta valor adimensional, apresentando como valor mínimo o Coeficiente de Demanda Hídrica Mínima quando os valores do Coeficiente de Aproveitamento Pluvial teórico se mostrarem inferiores ao Coeficiente de Demanda Hídrica Mínima, e valor máximo quando o Coeficiente de Aproveitamento Pluvial ($\alpha_{\text{TEÓRICO}}$) apresentar valor superior a 1.

Fundamentando-se nos valores assumidos para o Coeficiente de Repressão da Demanda, foi aplicada a classificação desta variável em relação aos valores definidos de demanda hídrica, a qual pode sofrer redução ou se manter inalterada. Desta forma, foram consideradas as seguintes classes:

- a) períodos de manutenção da demanda hídrica ($\alpha_{\text{EFETIVO}} = 1$);
- b) períodos de restrição da demanda hídrica ($\alpha_{\text{MÍNIMO}} \leq \alpha_{\text{EFETIVO}} < 1$);
- c) períodos críticos ($\alpha_{\text{EFETIVO}} = \alpha_{\text{MÍNIMO}}$);

A partir da classificação dos valores do Coeficiente de Repressão da Demanda (α_{EFETIVO}) pela aplicação da metodologia proposta, foram corrigidos os valores da Demanda não Potável (D_{NP}) de acordo com a disponibilidade pluvial característica dos períodos analisados, sendo posteriormente denominada Demanda não Potável Efetiva (D_{EF}), obtida pela Equação 21:

$$D_{\text{EF}} = D_{\text{NP}} \times \alpha_{\text{EFETIVO}} \quad (21)$$

Onde:

D_{EF} =Demanda não Potável Efetiva (Litros);

D_{NP} = Demanda não Potável Mensal (Litros);

α_{EFETIVO} = Coeficiente de Repressão da Demanda (adimensional).

Dimensionamento de Reservatório Pluvial Residencial

Na implantação de sistemas de aproveitamento pluvial, o dimensionamento do reservatório pluvial deve ser realizado rigorosamente em comparação a outros componentes, apresentando este constituinte maior custo de aquisição. O volume reduzido de um reservatório pode limitar o potencial de aproveitamento, como também grandes reservatórios podem inviabilizar a instalação do sistema, uma vez que os custos de implantação e aspectos estruturais podem constituir fatores limitantes. Desta forma, foi feita a adequação da Equação da Continuidade para estimativa de um reservatório mínimo capaz de atender a demanda hídrica não potável.

Além do controle da demanda não potável, o modelo proposto busca estimar um volume ideal de armazenamento (VF_i) por meio da relação entre o volume remanescente do reservatório no período anterior (VF_{i-1}), decrescido os valores de demanda hídrica não potável controlada e adicionados os valores relativos ao Potencial de Aproveitamento Pluvial, possibilitando o atendimento aos usos residenciais não potáveis. Deste modo, pretende-se garantir a disponibilidade hídrica permanente para suprimento prioritário, aplicando-se o volume reservado proveniente de períodos característicos de alta disponibilidade pluvial, conforme Equação 22.

$$VF_i = VF_{i-1} - \alpha_{EFET} \times D_{NP} + P_{AP} \quad (22)$$

Em que:

VF_i = Volume final do reservatório no dia ou mês atual (Litros);

VF_{i-1} = Volume final do reservatório no dia ou mês anterior (Litros);

α_{EFET} = Coeficiente de Repressão da Demanda (adimensional);

D_{NP} = Demanda Mensal não Potável (litros/mês);

P_{AP} = Potencial de Aproveitamento Pluvial (litros/mês)

No caso de se constatar a incapacidade do volume pluvial mensal captado em atender à demanda hídrica do período correspondente, foi visualizada restrição ou impossibilidade de aplicação do volume pluvial armazenado para atender a todas as modalidades de usos consideradas, excetuando-se a utilização prioritária, a qual deve ser obrigatoriamente suprida em todo o período analisado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados foram obtidos pela aplicação de informações referentes ao município de Poços de Caldas, localidade adotada para o desenvolvimento da pesquisa. Foram utilizados dados de precipitação média mensal, o que possibilitou a estimativa da disponibilidade hídrica pluvial. O cálculo da demanda não potável foi embasado no valor do consumo per capita diário do município, sendo tal informação obtida pela consulta junto ao banco de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Os métodos de dimensionamento de reservatórios pluviais foram desenvolvidos pela aplicação de estudos de caso, onde foram analisados os volumes obtidos, possibilitando definir a metodologia de dimensionamento mais adequada para implantação de sistemas de aproveitamento pluvial em residências.

Demanda Hídrica não Potável

A demanda hídrica não potável foi estimada em valores totais mensais, ou seja, foi calculada a Demanda Mensal não Potável (D_{NP}) por meio da aplicação do valor de demanda diária de 168 litros/hab.dia relativo ao município de Poços de Caldas (SNIS, 2014). O valor per capita foi multiplicado pela quantidade média de dias referente aos meses analisados, sendo considerado o percentual de economia máxima de 30%. Tal percentual de economia se obtém pela implantação de sistemas de aproveitamento pluviais, conforme cita Tomaz (2003), sendo considerada tal valor equivalente a Parcela de consumo não potável (P_{NP}). Desta forma, foi obtido o valor médio de 1533 litros/hab.mês para a Demanda Mensal não potável (D_{NP}) por habitante, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Estimativa da demanda não potável média.

Mês	Dias	Demanda per Capita (Litros/hab.dia)	Parcela não Potável (%)	Demanda Mensal Total (Litros/mês)	Demanda Mensal não Potável (Litros/mês)
Janeiro	31	168	0,3	5208,0	1562,4
Fevereiro	28	168	0,3	4704,0	1411,2
Março	31	168	0,3	5208,0	1562,4
Abril	30	168	0,3	5040,0	1512,0
Maiο	31	168	0,3	5208,0	1562,4
Junho	30	168	0,3	5040,0	1512,0
Julho	31	168	0,3	5208,0	1562,4
Agosto	31	168	0,3	5208,0	1562,4
Setembro	30	168	0,3	5040,0	1512,0
Outubro	31	168	0,3	5208,0	1562,4
novembro	30	168	0,3	5040,0	1512,0
Dezembro	31	168	0,3	5208,0	1562,4
Média					1533,0

Fonte: Autor.

A Demanda Mensal não Potável, cujo valor médio foi estimado em 1533 litros/hab.mês, representa o consumo hídrico correspondente aos usos residenciais em bacias sanitárias, lavagem de veículos e lavagem de pisos, possibilitando o suprimento de tais usos pela aplicação do volume pluvial coletado e armazenado. Considerando-se as etapas posteriores da presente pesquisa, o valor estimado foi utilizado como parâmetro para a aplicação dos métodos de dimensionamento dos reservatórios pluviais, considerando-se tal valor corresponde ao consumo mensal por habitante em uma residência.

Disponibilidade Hídrica Pluvial

A disponibilidade hídrica pluvial foi caracterizada pela aplicação dos dados de precipitação média mensal, sendo posteriormente definido o valor do Coeficiente de Aproveitamento Pluvial, relativo ao material da área de captação e perdas totais do sistema. A área de captação residencial utilizada foi definida conforme estudos de caso analisados, sendo empregados valores adotados em pesquisas referentes à prática de aproveitamento pluvial, compatíveis com a realidade residencial. Desta forma, calculou-se o valor da disponibilidade hídrica mensal, possibilitando a realização das metodologias de dimensionamento em que se

aplica o balanço de vazões de entrada e saída, ou seja, a diferença entre disponibilidade e demanda hídrica no sistema.

Na presente etapa, o volume de precipitação disponível foi considerado equivalente ao Potencial de Aproveitamento Pluvial (P_{AP}), sendo adotado o valor do Coeficiente de Aproveitamento Pluvial (C_{AP}) de 0,7 para todos os estudos de caso aplicados, conforme valor estipulado para o Coeficiente de Escoamento Superficial (C) em estudo realizado por Mierzwa et al. (2007). Desta forma, considerando-se a igualdade entre o Coeficiente de Aproveitamento Pluvial e o Coeficiente de Escoamento Superficial. A utilização do valor recomendado para o respectivo coeficiente se justifica pela dificuldade de estimativa do mesmo, devido a abrangência teórica das análises propostas nesta pesquisa e inexistência de um aparato experimental para determinação dos valores do Coeficiente de Escoamento Superficial (C) para o local de estudo, ocorrendo a mesma dificuldade para a estimativa do Índice de Perdas do Sistema (I_P).

5.1 MODELO DE ARMAZENAMENTO MÁXIMO – ESTUDO DE CASO 1

De forma a possibilitar a análise e comparação dos modelos utilizados no presente trabalho, aplicou-se o Modelo de Armazenamento Máximo tanto ao período mensal quanto ao período anual.

Modelo Aplicado ao Período Mensal

O Modelo de Armazenamento Máximo apresentou como pressuposto a garantia de suprimento da demanda não potável mensal sem considerar possíveis efeitos da sazonalidade, eliminando-se uma análise do balanço de vazões de entrada e saída, ou seja, diferenças entre disponibilidade e demanda. O volume do reservatório de armazenamento pluvial (V_R) foi considerado igual a Demanda Mensal não Potável (D_{NP}), cujo valor estimado foi de 1533 litros/hab.mês.

$$V_R = D_{NP} = 1533 \text{ litros}$$

Desta forma, foi possível garantir o suprimento da Demanda Mensal não Potável (D_{NP}) pela utilização do Volume armazenado no reservatório (V_R), possibilitando a blindagem da escassez hídrica para o cenário mais extremo considerado, ou seja, ausência de precipitações durante o período relativo a determinado mês. Considerando-se a aplicação da prática de aproveitamento pluvial em residências, o reservatório dimensionado possui potencial de utilização, já que não apresentou dimensões inapropriadas, tanto em termos estrutural quanto espacial, para o suprimento da demanda não potável equivalente a um habitante.

A análise do modelo de armazenamento máximo mensal, proposto nesta etapa, permitiu considerar que a confiabilidade do sistema seria máxima para o período mensal, eliminando a falta de volume hídrico disponível para suprimento não potável. Todavia, o volume dimensionado do reservatório, conforme o esperado, tenderia a dimensões muito grandes, podendo inviabilizar a aplicação do sistema de aproveitamento pluvial em âmbito residencial.

Modelo Aplicado ao Período Anual

De maneira semelhante a anterior, foi realizado o dimensionado de um reservatório pluvial que possibilitasse a blindagem da escassez hídrica, diferindo apenas de uma análise mensal para anual. Desta forma, foi considerada a igualdade entre o Volume de reservatório pluvial (V_R) e a Demanda Anual não Potável (ΣD_{NP}), relativa a um habitante, a qual foi calculada pelo somatório das demandas mensais não potáveis de janeiro a dezembro, sendo obtido o valor de 18397 litros.

$$V_R = \Sigma D_{NP} = 18397 \text{ litros}$$

Analisando-se o resultado obtido, constata-se a inviabilidade de aplicação da prática de aproveitamento pluvial que contemple um reservatório de tais dimensões, justificando-se tal assertiva tanto pela falta de suporte estrutural e espacial quanto pela relação custo benefício de implantação de um sistema residencial nestas proporções, a qual se mostra desfavorável.

5.2 MODELO DE RESERVA DO PERÍODO CHUVOSO – ESTUDO DE CASO 2

O Modelo de Reserva do Período Chuvoso, constituindo a aplicação do Método de Rippl, tem como pressuposto a coleta e armazenamento pluvial em períodos de alta disponibilidade, possibilitando a aplicação do volume armazenado para suprimento residencial não potável em períodos de disponibilidade reduzida. Desta forma, considerou-se o balanço de volumes de entrada e saída do sistema, possibilitando eliminar os efeitos negativos da sazonalidade durante períodos de escassez pluvial. Nesta etapa, foram utilizados os seguintes dados:

- a) Precipitação Média Mensal (mm/mês);
- b) Demanda Mensal não Potável: 6132 litros/mês, equivalente a quatro habitantes;
- c) Área de captação Pluvial: 150 m²;
- d) Coeficiente de Aproveitamento Pluvial (C_{AP}): 0,7.

O valor adotado para o Coeficiente de Aproveitamento Pluvial foi de 0,7, conforme aplicado em estudo realizado por Mierzwa et al. (2007) para o valor do Coeficiente de Escoamento Superficial. Desta forma, considerou-se a equivalência entre o Coeficiente de Aproveitamento Pluvial e Coeficiente de Escoamento Superficial, eliminando-se a análise de perdas totais do sistema. Com base nos dados citados, foi realizado o balanço de vazões entre disponibilidade pluvial e demanda não potável, sendo obtidos valores de Déficit Hídrico Mensal (D_{HM}) positivos, conforme condição preestabelecida ($D_{HM} > 0$), para os meses de junho, julho e agosto, conforme apresentado pela Tabela 7.

Tabela 7 - Estimativa do Déficit Hídrico Mensal para o período crítico.

Mês	Precipitação (mm)	Demanda Hídrica (Litros)	P _{AP} (Litros)	Déficit Hídrico (Litros)
Janeiro	282,00	6132,00	29610,00	-23478,00
Fevereiro	223,10	6132,00	23425,50	-17293,50
Março	172,20	6132,00	18081,00	-11949,00
Abril	81,60	6132,00	8568,00	-2436,00
Maio	62,20	6132,00	6531,00	-399,00
Junho	25,30	6132,00	2656,50	3475,50
Julho	19,90	6132,00	2089,50	4042,50
Agosto	28,50	6132,00	2992,50	3139,50
Setembro	73,30	6132,00	7696,50	-1564,50
Outubro	139,40	6132,00	14637,00	-8505,00
Novembro	166,40	6132,00	17472,00	-11340,00
Dezembro	276,40	6132,00	29022,00	-22890,00

Fonte: Autor.

Analisando-se os dados da Tabela 7, verificou-se que a demanda hídrica não potável mensal, nos meses de junho, julho e agosto, apresentou valores superiores ao Potencial de Aproveitamento Pluvial, apontando insuficiência do potencial hídrico e necessidade de armazenamento pluvial como medida compensatória. Desta forma, considerou-se o Volume do reservatório pluvial equivalente ao somatório dos valores do Déficit Hídrico Mensal, sendo obtido o valor:

$$V_R = \Sigma S_{HM} = 10657,5 \text{ litros}$$

Considerando-se o volume de reservatório dimensionado, constatou-se a inviabilidade de implantação de um sistema pluvial que contenha um elemento nestas dimensões, justificando-se tal afirmação pelos seguintes fatores: suporte estrutural limitado das residências; relação custo benefício desvantajosa pelo baixo preço das tarifas de água e alto custo de implantação; e reduzida disponibilidade espacial em residências.

5.3 MODELO DE REPRESSÃO DA DEMANDA HÍDRICA – ESTUDO DE CASO 3

O tópico em questão aborda a classificação mensal em relação à disponibilidade hídrica e o método de dimensionamento de reservatório pluvial baseado no controle da demanda hídrica.

Classificação Mensal

A classificação proposta, representada pelo Coeficiente de Aproveitamento Pluvial Teórico, possibilitou verificar períodos em que o volume precipitado se mostrou satisfatório, razoável ou insuficiente em relação a demanda, considerando-se ainda o potencial de suprimento mínimo a ser garantido. O volume hídrico prioritário, correspondente a Demanda Prioritária, foi definido para um consumo de 20 litros por dia em descargas sanitárias, volume hídrico considerado adequado para afastamento de dejetos por habitante residencial, conforme recomendado por Matos (2007). Desta forma, obteve-se um valor mensal relativo ao consumo em bacias sanitárias, correspondente a Demanda Prioritária, sendo:

$$20 \text{ litros/hab.dia} \times 30 \text{ dias} = 600 \text{ litros/hab ou } 600 \text{ litros/hab.mês}$$

Considerando-se a demanda prioritária relativa a quatro habitantes, foi estimado o valor de 2400 litros mensais necessários ao suprimento do volume hídrico consumido em bacias sanitárias. A Demanda Mensal não Potável analisada foi aquela correspondente a quatro habitantes, totalizando 6132 litros mensais. Assim, foi calculado o Coeficiente de Demanda Hídrica Mínima, o qual representa o percentual mínimo a ser obrigatoriamente garantido para suprimento prioritário, sendo obtido o valor:

$$\alpha_{\text{MÍNIMO}} = D_P / D_{NP} = 0,39$$

Definindo-se o valor mínimo a ser suprido pelo sistema de aproveitamento pluvial, equivalente ao Coeficiente de Demanda Hídrica Mínima ($\alpha_{\text{MÍNIMO}} = 0,39$), foram classificados os meses pela relação entre disponibilidade e demanda hídrica, obtida pela aplicação do Coeficiente de Aproveitamento Pluvial Teórico, sendo os valores apresentados pela Tabela 8.

Tabela 8 - Classificação referente aos valores estimados para Coeficiente de Aproveitamento Pluvial Teórico.

Mês	Precipitação (mm)	D _{NP} (Litros)	P _{AP} (Litros)	α Mínimo	α Teórico
Janeiro	282,0	6132,0	29610,0	0,39	4,83
Fevereiro	223,1	6132,0	23425,5	0,39	3,82
Março	172,2	6132,0	18081,0	0,39	2,95
Abril	81,6	6132,0	8568,0	0,39	1,40
Maio	62,2	6132,0	6531,0	0,39	1,07
Junho	25,3	6132,0	2656,5	0,39	0,43
Julho	19,9	6132,0	2089,5	0,39	0,34
Agosto	28,5	6132,0	2992,5	0,39	0,49
Setembro	73,3	6132,0	7696,5	0,39	1,26
Outubro	139,4	6132,0	14637,0	0,39	2,39
Novembro	166,4	6132,0	17472,0	0,39	2,85
Dezembro	276,4	6132,0	29022,0	0,39	4,73

Fonte: Autor.

Analisando-se os resultados apresentados pela Tabela 8, observou-se a predominância de meses com disponibilidade favorável, totalizando nove meses classificados como alta disponibilidade, dois meses de disponibilidade média e um mês de baixa disponibilidade. Os meses de janeiro e dezembro apresentaram os maiores valores de Coeficiente de Aproveitamento Pluvial Teórico ($\alpha_{TEÓRICO}$), respectivamente, 4,83 e 4,73, bastante superior a demanda não potável, enquanto os meses de maio e setembro apresentaram os menores valores, 1,07 e 1,26, respectivamente, apontando diferença reduzida entre disponibilidade e demanda hídrica, já que tal coeficiente pressupõe a relação existente entre tais variáveis.

O único mês que apresentou baixa disponibilidade foi julho, o qual retornou o valor de 0,34, ou seja, inferior ao percentual prioritário ($\alpha_{MÍNIMO} = 0,39$) a ser suprido. Desta forma, visualiza-se um déficit hídrico para o respectivo mês, necessitando da aplicação de volumes hídricos armazenados para garantia do suprimento prioritário em bacias sanitárias.

Dimensionamento do Reservatório Pluvial

A aplicação do Modelo de Repressão da Demanda Hídrica envolveu o controle da demanda hídrica não potável para dimensionamento de reservatório de armazenamento pluvial. Por meio da aplicação desta metodologia, foi realizada a tentativa de obter um

reservatório pluvial de dimensões reduzidas, impulsionando a viabilidade de aplicação de sistemas de aproveitamento pluvial em residências, as quais apresentam, muitas vezes, limitações estruturais e espaciais. Considerando-se o desenvolvimento do presente modelo, foram utilizados os seguintes dados:

- a) Precipitação Média Mensal (mm/mês);
- b) Demanda Mensal não Potável: 6132 litros/mês, equivalente a quatro habitantes;
- c) Área de captação Pluvial: 100 m²;
- d) Coeficiente de Aproveitamento Pluvial (C_{AP}): 0,7

Considerando-se o percentual mínimo a ser garantido para suprimento prioritário, foram determinados períodos em que a demanda hídrica apresenta potencial de excedência sem colocar em risco o consumo prioritário, períodos em que a demanda foi restringida para garantia do uso prioritário e períodos em que o uso prioritário não foi garantido pela disponibilidade hídrica atual, sendo utilizado o volume armazenado para manutenção da demanda prioritária, ou seja, garantir o suprimento hídrico em bacias sanitárias.

Aplicando-se o método proposto, foi realizado o dimensionamento do reservatório pluvial, obtendo-se o valor máximo de 2015,44 litros, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Dimensionamento do reservatório pluvial pelo Modelo de Controle da Demanda.

Mês	D_{NP}	P_{AP}	α Teórico	α Mínimo	α Efetivo	D_{EF}	VF_i
Janeiro	6132,00	19740,00	3,22	0,39	1,00	6132,00	2015,44
Fevereiro	6132,00	15617,00	2,55	0,39	1,00	6132,00	2015,44
Março	6132,00	12054,00	1,97	0,39	1,00	6132,00	2015,44
Abril	6132,00	5712,00	0,93	0,39	0,93	5712,00	2015,44
Mai	6132,00	4354,00	0,71	0,39	0,71	4354,00	2015,44
Junho	6132,00	1771,00	0,29	0,39	0,39	2391,48	2015,44
Julho	6132,00	1393,00	0,23	0,39	0,39	2391,48	396,48
Agosto	6132,00	1995,00	0,33	0,39	0,39	2391,48	0,00
Setembro	6132,00	5131,00	0,84	0,39	0,84	5131,00	0,00
Outubro	6132,00	9758,00	1,59	0,39	1,00	6132,00	2015,44
Novembro	6132,00	11648,00	1,90	0,39	1,00	6132,00	2015,44
Dezembro	6132,00	19348,00	3,16	0,39	1,00	6132,00	2015,44

Fonte: Autor.

Analisando-se os resultados apresentados pela Tabela 9, percebe-se que a demanda foi mantida nos períodos compreendidos entre os meses de Janeiro a Março e Outubro a Dezembro, correspondente ao valor de 6132 litros mensais ($\alpha_{\text{EFETIVO}} = 1,0$). O volume do reservatório nestes meses foi mantido em 2015,44 litros, fato ocorrido pela alta disponibilidade hídrica nestes períodos, mesmo descontando os valores relativos a demanda não potável. A correção dos valores do Coeficiente de Aproveitamento Pluvial teórico, de forma a viabilizar a garantia da Demanda Prioritária, pode ser visualizada pela Figura 5.

A aplicação do controle da demanda foi realizada em um período equivalente a seis meses (abril a setembro), ocorrendo pequena redução nos meses de abril e setembro, admitindo demandas de 5712 litros e 5131 litros, respectivamente, enquanto no mês de maio foi visualizada uma redução considerável, sendo atingida uma demanda de 4354 litros. No mês de junho o reservatório se manteve cheio, enquanto no mês de julho foi visualizada uma redução do volume para 396,48 litros, evento justificado pela aplicação de parcela do volume total armazenado para atendimento da demanda não potável, em face da disponibilidade pluvial reduzida.

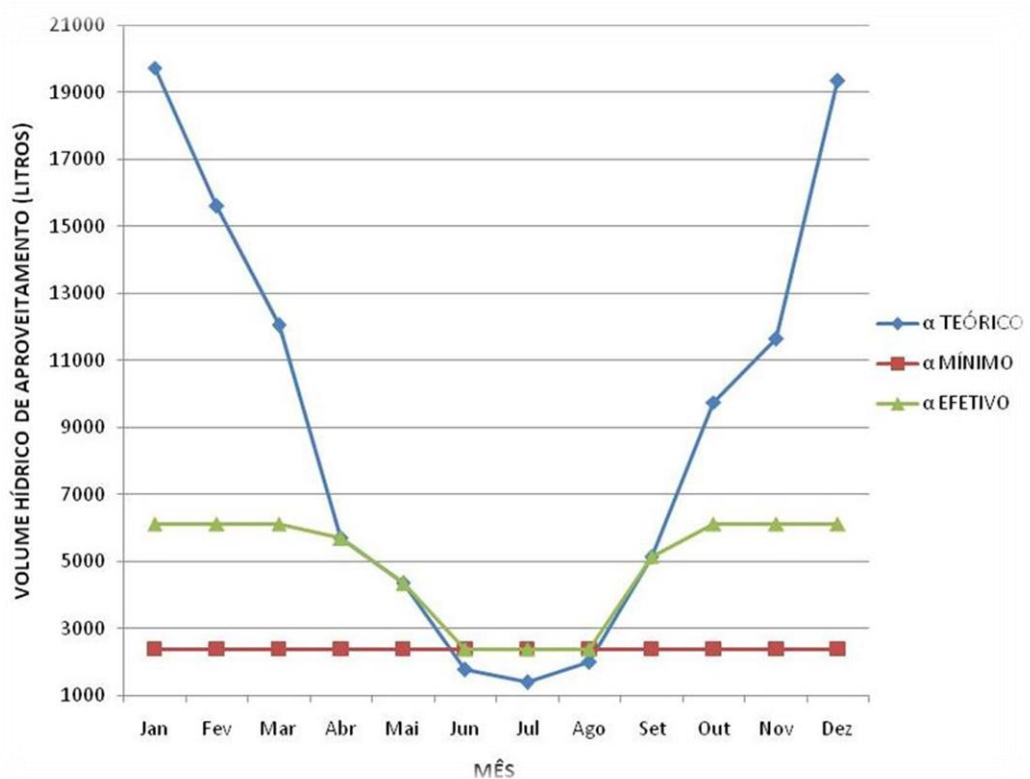


Figura 5 - Comportamento das variáveis aplicadas ao modelo proposto.

Fonte: autor.

Nos meses de agosto e setembro foi visualizado o volume hídrico de armazenamento igual a zero, sendo tal situação ocasionada pelo consumo total da água armazenada para suprimento hídrico. Esta situação se justifica pelo alto consumo hídrico no período de menor disponibilidade hídrica, compreendido entre junho e agosto. A supressão absoluta do volume armazenado não incorreu em prejuízos ao fornecimento no mês posterior (outubro), já que o mesmo apresentou valores de disponibilidade hídrica superiores aos valores da demanda não potável. O volume máximo necessário para garantia da demanda prioritária foi de 2015,44 litros, valor dimensionado para o reservatório, considerando-se a metodologia de controle da demanda não potável.

Analisando-se a Figura 5, visualiza-se o efeito do controle da demanda hídrica, representado pelo Coeficiente de Repressão da Demanda Hídrica, o qual realiza a correção dos valores do Coeficiente de Aproveitamento Pluvial teórico nos meses de junho ($\alpha_{\text{EFETIVO}} = 0,29$), julho ($\alpha_{\text{EFETIVO}} = 0,23$) e agosto ($\alpha_{\text{EFETIVO}} = 0,33$), passando a admitir um valor correspondente a Demanda Prioritária ($\alpha_{\text{EFETIVO}} = 0,39$), possibilitando a garantia do suprimento em bacias sanitárias ($\alpha_{\text{MÍNIMO}} = 0,39$), conforme metodologia proposta.

Neste estudo de caso diminuimos a área de captação de 150 m² para 100 m², pois se mantivéssemos a mesma área de captação, o reservatório mínimo seria de 302 litros. Diante disto, pode-se concluir que o método proposto se apresenta bastante útil para casos em que se consideram pequenas áreas de captação, grandes demandas ou baixos índices pluviométricos.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como etapa inicial a caracterização da demanda hídrica não potável e disponibilidade pluvial, sendo tais variáveis imprescindíveis para analisar a viabilidade de sistemas de aproveitamento pluvial residenciais. A demanda não potável foi estimada em relação ao consumo residencial por habitante, considerando-se apenas os usos não potáveis em bacias sanitárias, lavagem de pátios e veículos. A disponibilidade pluvial foi determinada pela aplicação de dados mensais de precipitação, adotando-se o valor de 0,7 para o Coeficiente de Aproveitamento Pluvial, conforme valor utilizado por Mierzwa et al. (2007), ocorrendo a variação das áreas de captação para os estudos de caso realizados.

No Estudo de Caso 1 foi realizada a aplicação do Modelo de Armazenamento Máximo (Modelo 1) para estimativa do reservatório pluvial, sendo considerado como parâmetro de dimensionamento apenas valores da demanda não potável. Desta forma, eliminou-se a análise do balanço de vazões do sistema, sendo obtido o valor do reservatório de 1533 litros para blindagem da escassez mensal, possibilitando concluir que tal volume se mostrou viável para aplicação residencial com um habitante, enquanto na blindagem da escassez anual foi dimensionado um reservatório de 18397 litros, volume inviável para aplicação residencial mesmo para o caso mais simples de um habitante, em face da necessidade de grande disponibilidade espacial e suporte estrutural arrojado em residências.

O Modelo de Reserva do Período Chuvoso, representado pelo Estudo de Caso 2, apresentou inviabilidade de aplicação para dimensionamento de sistemas de aproveitamento pluvial residenciais, sendo obtido o valor de 10657,5 litros para o reservatório pluvial para atendimento do consumo mensal relativo a 4 habitantes. Tal assertiva se justifica por considerar alguns fatores limitantes em âmbito residencial, como disponibilidade espacial reduzida, suporte estrutural limitado e custos elevados de implantação e operação. No entanto, o volume dimensionado pela aplicação do Modelo 2 se mostrou bastante inferior quando comparado ao volume obtido pelo Modelo 1, apontando maior aplicabilidade do Modelo 2 por demandar um sistema de menores proporções.

No Modelo de Repressão da Demanda Hídrica (Estudo de Caso 3), a classificação mensal apontou predominância de alta disponibilidade hídrica para o local analisado, considerando-se uma área de captação de 150 m² e demanda hídrica relativa a quatro habitantes, equivalente a 6132 litros mensais. A aplicação do modelo de dimensionamento do

reservatório mostrou viável, sendo implementada a aplicação do controle da demanda hídrica para dimensionamento de reservatório mínimo, sendo obtido um volume de 2015,44 litros, para uma área de captação ainda menor que para os outros casos (100 m² ao invés de 150m²). Desta forma, concluiu-se que o método proposto apresentou eficiência, possibilitando o atendimento da Demanda não Potável em meses de alta disponibilidade e o suprimento da Demanda Prioritária nos meses de disponibilidade reduzida. Pela aplicação da classificação proposta, foi possível visualizar a predominância dos meses em que a demanda hídrica foi mantida, apontando a efetividade do volume de reservatório estimado.

Constatou-se uma provável redução dos gastos na implantação de sistemas pluviais, uma vez que o reservatório de armazenamento constitui o componente de maior custo, potencializando a utilização desta prática racional de suprimento hídrico. A aplicação do modelo se torna mais adequada para estudos de grandes demandas residenciais ou disponibilidade hídrica reduzida, condições que justificariam a necessidade de controle do consumo. Para uma área de captação de 150 m², obteve-se um reservatório mínimo de 302 litros, volume inviável para a prática de aproveitamento pluvial, pois um período de quatro dias sem chover geraria falta de água pluvial para suprimento não potável.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. 2014. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2015**. Brasília: ANA, 2015. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_2015.pdf>. Acesso em: 11 out. 2016.
- ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: “**Água de Chuva- Aproveitamento de áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**”. Rio de Janeiro, outubro de 2007. 8 p.
- BERTOLO, E.J.P. **Aproveitamento da água da chuva em edificações**. 2006. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2006.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. p. 177-231.
- CARVALHO, J. **Avaliação da qualidade de água de um sistema de captação de água pluvial. Estudo de caso: Laboratório de Ecologia Isotópica/CENA/USP**. 2014. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- COLLISCHONN, W; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2008.
- DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ENERGIA (DME). **Projeto de instalação de estações hidrométricas em atendimento à Resolução Conjunta 03/2010**. Belo Horizonte, 2012.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J.A. Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água da chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n.2, p. 59-68, abr./jun. 2010.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. 219 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Rainwater harvesting: Conservation, Credit, Codes and Cost Literature Review and Case Studies**. 2013. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-11/documents/rainharvesting.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2016.

FENDRICH, R. **Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**. 2002. 504 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Coping with water scarcity: an action framework for agriculture and food security**. FAO Water Reports 38, Rome, 2012. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/016/i3015e/i3015e.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, v. 41, p. 1544-1550, 2005.

GIACCHINI, M. **Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água da chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GNADLINGER, J. Coleta de água de chuva em áreas rurais. In: **Anais eletrônicos do 2º Fórum Mundial da Água, Holanda**. Disponível em: <<http://www.irpaa.org.br/colheita/indexb.htm>>. Acesso em: 14 out. 2016.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water Journal**, v.1, p. 307-316, 1999.

KAUFMANN, V. **Processo hidrológico e transporte de espécies químicas produzidos por chuva intensa simulada em solos do sul do Brasil**. 2013. 145 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150 cm x 200 cm.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application for Ireland. **Desalination**, v. 260, p. 1-8, 2010.

MARCONI, P. **SIMCAP – ferramenta computacional para auxílio à tomada de decisão sobre a implantação de sistemas de captação de águas pluviais**. 2013. 229 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MARINOSKI, A.K.; GHISI, E. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 67-84, 2008.

MATOS, J. C. C. T. **Proposição de método para definição de cotas per capita mínimas de água para consumo humano**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MAY, S., **Estudo de aproveitamento de águas pluviais para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MAY, S., **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. 222 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Editora UFLA, 2013.

MIERZWA, J.C. 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.

MOREIRA NETO, R.F. Avaliação do aproveitamento de água pluvial em complexos aeroportuários. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

PLANO DIRETOR. (Documento de 2002, revisado em 2006, de acordo com a lei federal 10.257/10) – Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, Secretaria de Planejamento e Coordenação, 2006.

RODRIGUES, J.C.M.R. **Sistemas de aproveitamento de águas pluviais: dimensionamento e aspectos construtivos**. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

RUPP, R.F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n.4, p. 47-64, out./dez. 2011.

SACADURA, F., **Análise de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios**. 2011. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SALLA, M. R. et al. Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade. **Ambiente Construído**, v. 13, p. 167-181, 2013.

SAMPAIO, F.E.O.V. **Análise da viabilidade de implantação e pré-dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em centros urbanos**. 2013. 165 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

SILVA, A.I.R. **Sistemas de aproveitamento de águas pluviais em habitações unifamiliares: funcionamento hidráulico de um sistema de drenagem sifônica**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2014.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. p. 35-40.

SIQUEIRA CAMPOS, M.A. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos**. 2004. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

SIQUEIRA CAMPOS, M.A. **Qualidade de investimentos em sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial: uso de particles swarm optimization**. 2012. 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos-2014. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2014>>. Acesso em: 18 maio 2016.

SOUZA, C.F.; CRUZ, M.A.S.; TUCCI, C.E.M. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9-18, abr.-jun., 2012.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Editora Navegar, 2003.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2. ed. São Paulo: Editora Navegar, 2009.

TUCCI, C.E.M.; BELTRAME, F. S. Evaporação e Evapotranspiração. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. p. 253-287.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **O Ciclo da Água** (The Water Cycle, Portuguese). 2016. Disponível em: <<http://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>>. Acesso em: 06 out. 2016.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (UN WWAP). **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World**. UNESCO: Paris, 2015. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002321/232179E.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

VERÇOSA, D.K.S. Análise dos métodos de dimensionamento de reservatórios de captação de águas pluviais em edificações no município de Niterói. 2014. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

YOSHINO, G.H. O aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na cidade universitária professor José da Silveira Netto – Belém/PA. 2012. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.