

# COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PROPOSTOS PELA ABNT NBR 15527:2007 PARA SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR – CARAPICUÍBA - SP

## Comparison between methods of rainwater tank sizing suggested by ABNT NBR 15527:2007 for rainwater harvesting system in a single family home – CARAPICUÍBA - SP

Kelly Carolina Alves da SILVA<sup>1</sup>, Armando Traini FERREIRA<sup>2</sup>

Recebido em 05 de agosto de 2019; aceito em 30 de setembro de 2019; disponível on-line em 04 de junho de 2020.



### PALAVRAS CHAVE:

Sistemas de aproveitamento de água pluvial;  
 Dimensionamento de reservatórios;  
 Métodos de dimensionamento;  
 Água pluvial;  
 NBR 15527.

### KEYWORDS:

Rainwater harvesting system;  
 Rainwater tank sizing;  
 Sizing methods;  
 Stormwater;  
 NBR 15527.

**RESUMO:** As técnicas de aproveitamento de água pluvial são soluções sustentáveis que colaboram para uso racional da água, viabilizando a conservação dos recursos hídricos para as futuras gerações. O presente trabalho objetivou realizar uma comparação entre os métodos de dimensionamento de reservatórios apresentados pela ABNT NBR 15527:2007 para um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma residência unifamiliar no município de Carapicuíba, SP. Por meio de um levantamento de usos finais de água não potável na edificação, pode-se estimar o volume de água necessário para suprir essa demanda em atividades de consumo não nobres como: lavagem de automóveis, lavagem de quintal, lavagem de calçadas e irrigação de jardins. Foi imprescindível ao estudo o levantamento de dados pluviométricos e verificação da área de captação de água pluvial do local estudado. Posteriormente à coleta dos dados citados, dimensionou-se o reservatório de água pluvial por meio de seis diferentes métodos, e fez-se uma comparação entre eles, onde foi constatado que a escolha do método ideal de dimensionamento será de acordo com os interesses finais de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial e também em função da região de implantação. Sendo, no caso estudado, escolhidos como métodos que atingiram um valor mais apropriado para o reservatório aderente à demanda (volume de 3m<sup>3</sup>), o método australiano e o método da simulação.

**ABSTRACT:** The techniques of rainwater harvesting are sustainable solutions that collaborate for the rational use of water, making conservation of water resources for future generations feasible. This paper's objective is to compare the various methods of rainwater tank sizing suggested in the Brazilian standard NBR 15527:2007 for a rainwater harvesting system in a single family home in the city of Carapicuíba, SP. By means of surveying the final uses of non-potable water in the building, it is possible to estimate the volume of water needed to supply the demand for non-potable water for activities such as car washing, backyard washing, sidewalk washing and irrigation of gardens. It was essential to the study the collection of rainfall data and verification of the rainfall catchment area of the study site. Subsequently to the data collection, the rainwater tank was sized by means of six different methods, and a comparison was made between them, where it was verified that the choice of the ideal method of sizing will be according to the final interests of implantation of a rainwater harvesting system and also according to the region of implantation. In the case studied, the methods that better adhered to the demand were the Australian method and the simulation method with a rainwater tank of volume of 3m<sup>3</sup>.

\* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail: [kelly.alves108@gmail.com](mailto:kelly.alves108@gmail.com) ( K. C. A. Silva )

Engenheira Civil, graduada pelo Instituto Federal de São Paulo - Campus São Paulo.

<sup>2</sup> e-mail: [traini@ifsp.edu.br](mailto:traini@ifsp.edu.br) ( A. T. Ferreira )

Engenheiro Civil, Doutor, Professor, Instituto Federal de São Paulo - Campus São Paulo.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de recursos naturais renováveis e não renováveis pelo homem trouxe com ele grandes evoluções para a civilização, mas a utilização indiscriminada de recursos tais quais as águas também trouxeram consigo limitações, já que os mesmos são finitos. No que tange aos recursos hídricos, existe uma tendência à escassez de água de boa qualidade sendo, então, necessário que se faça uso destes recursos de maneira eficiente e racional (FERREIRA et al., 2008). Desta forma, fica clara a importância de se utilizar fontes alternativas de recursos hídricos não potáveis, deixando-se de utilizar a água potável para fins menos nobres (atividades que não demandam água potável).

Há não muito tempo um problema enfrentado pela população da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), o maior polo de riqueza nacional segundo a EMPLASA (2017), foi a escassez de água no período de 2013 a 2014, que foi denominado de “crise hídrica”. Nesse período o regime de chuvas da região sudeste do país foi atípico, apresentando uma gradativa e intensa redução nos índices pluviométricos. Fato que causou uma diminuição significativa do volume armazenado nos reservatórios dos sistemas de abastecimento público, fazendo com que alguns municípios entrassem em um racionamento de consumo d’água e em outros foi necessária até mesmo utilização de carros-pipa (ANA, 2015).

Posto isto, nota-se que é necessária a implantação de medidas capazes de reverter essa situação. Uma medida que pode ser citada é o sistema de aproveitamento de água pluvial (SPERANCETTA et al., 2004). A captação pontual de águas pluviais é uma das alternativas mais comuns para melhorar o aproveitamento dos recursos hídricos, e consiste em captar a água da chuva através de uma superfície de coleta, sendo armazenada em reservatórios para posteriormente ser distribuída. Segundo a associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

através da NBR 15527 (ABNT, 2007), que define metodologias para projetos de aproveitamento de água pluvial, a água de chuva de áreas urbanas pode ser utilizada para fins não potáveis tais como limpeza externa de prédios e veículos, vasos sanitários, irrigação de jardins e reservatórios para combate de incêndios. Este artigo compreende apenas o aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis como, por exemplo, para a rega de jardins e a lavagem de carros, ou seja, atividades não nobres que não exigem um tratamento complexo da água.

Nesse contexto, o presente trabalho sugere a comparação entre métodos de dimensionamento de reservatório para um sistema de captação de águas pluviais que seria implantado em uma residência unifamiliar localizada em Carapicuíba, uma localidade que durante a crise hídrica de 2014 foi fortemente afetada pela falta de água, já que era abastecida pelo sistema da Cantareira - um dos mais afetados pela escassez hídrica daquele período. E assim, determinar qual método de dimensionamento de reservatório apresentado pela norma brasileira seria mais adequado a aplicação no local estudado.

## 2. OBJETIVO

Comparar os métodos de dimensionamento, segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007), de reservatório para um sistema de aproveitamento de água pluvial para uso não potável em residência unifamiliar já construída, localizada na RMSP, e verificar qual seria o mais apropriado a se aplicar no objeto de estudo.

## 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Sperancetta et al. (2004), o volume total da água permanece constante no planeta, e é estimado em aproximadamente 1,4 bilhão de quilômetros cúbicos. Os oceanos representam 97% do montante efetivo de água e, conseqüentemente, restam apenas 2,5% de água

doce, que permanece em ciclo de chuva, neve, evaporação e gelo. Grande parte da água doce (68,7%) permanece como gelo e neve, 30% está na forma de águas subterrâneas e apenas uma pequena parcela (0,26%) compreende lagos, rios e reservatórios, que representam as formas mais fáceis e acessíveis economicamente para captação.

A água, por conseguinte, é um recurso extremamente ínfimo. O suprimento de água doce de boa qualidade é fundamental para o desenvolvimento econômico, assim como para a qualidade de vida das populações humanas e para que se mantenha a biodiversidade terrestre e aquática. Deste modo, os recursos hídricos superficiais e subterrâneos são recursos estratégicos para os seres vivos (TUNDISI, 2003).

Além do fato da água doce ocorrer em pequena porcentagem na Terra e ser afetada por fatores que comprometem sua usabilidade, sua distribuição geográfica é desigual (ANA, 2016). Também é importante destacar que o crescimento populacional desordenado aliado ao uso indiscriminado e não racional da água tem levado os recursos hídricos a uma deterioração acelerada e como consequência o ser humano vem buscando reduzir seu consumo e procurando por novas fontes de abastecimento (AMORIM; PEREIRA, 2008).

De acordo com Amorim e Pereira (2008) uma das formas de reduzir o problema ambiental de escassez de água para consumo seria por meio da utilização de sistemas de aproveitamento de água pluvial, já que as águas de chuva captadas por esses sistemas poderão ser usadas em diversas atividades menos nobres que não demandam a utilização de água potável como: rega de jardim, lavagem de veículos, descargas em bacias sanitárias, limpeza de calçadas, entre outros. Minimizando, assim, o uso de água potável proveniente da rede de distribuição.

O sistema de captação e utilização de água pluvial é composto pelos seguintes componentes: superfície de captação (telhado), calhas e tubulações, dispositivos de descarte para

autolimpeza e reservatório de acumulação de água (COHIM et al, 2008).

O reservatório é um dos componentes mais importantes e onerosos do sistema de aproveitamento de água pluvial, assim sendo o seu dimensionamento deve ser realizado minuciosamente, pois poderá tornar a implantação do sistema inviável (MAY, 2004), motivo pelo qual este trabalhou focou neste item. Os principais critérios a serem levados em consideração no dimensionamento deverão ser: custos totais de implantação, demanda de água, áreas de captação, regime pluviométrico e confiabilidade requerida para o sistema (MARINOSKI, 2007).

Com o intuito de investigar métodos para o dimensionamento de reservatório de água pluvial para fins não potáveis, este trabalho apresenta um estudo de caso, para aplicar e comparar os seis métodos de dimensionamento apresentados na NBR 15527 (ABNT, 2007) e determinar qual seria o mais adequado a se aplicar no local de estudo.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 MUNICÍPIO DE ESTUDO

O município de Carapicuíba, com área de 34,967 km<sup>2</sup>, é o local de estudo escolhido e está localizado entre os paralelos 23°30' e 23°35' de latitude sul e entre os meridianos 46°45' e 46°55' de longitude oeste, estando a 21 km da capital São Paulo e pertencendo à RMSP. As localidades que fazem divisa com esse município são: Barueri (norte), Jandira (oeste), Cotia (sul) e Osasco (leste).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), a população estimada total do município é de 399.584 habitantes, sendo o segundo mais populoso de sua microrregião. Na Figura 1 pode-se observar a localização geográfica do município, destacada em cor vermelha, em relação à RMSP (EMPLASA, 2017).

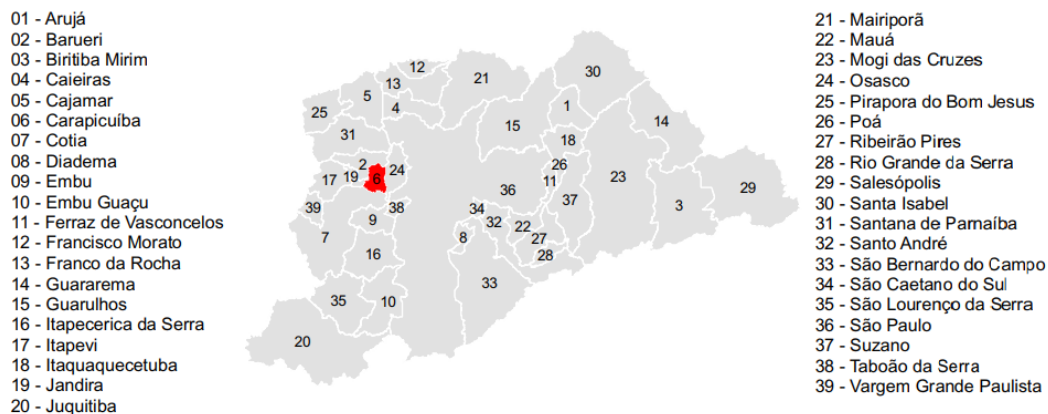


FIGURA 1: Localização do município em relação à RMSP

FONTE: EMPLASA (2017).

## 4.2 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo, uma residência unifamiliar, está localizado na Estrada do Jacarandá nº 2250, no condomínio dos Ipês, na cidade de Carapicuíba, São Paulo. A residência abriga uma família de quatro pessoas. A edificação está construída em um terreno de 194,85 m<sup>2</sup>, possui três pavimentos e área construída de 268 m<sup>2</sup>. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta a fachada da residência e a vista aérea, em destaque.

## 4.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

### 4.3.1 Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos coletados são provenientes de pluviômetro automático

do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN. O posto pluviométrico escolhido foi o de Altos de Santa Lúcia, que possui o código 351060901A, o mais próximo do local de estudo, sendo localizado inclusive no mesmo bairro. As coordenadas geográficas do posto são: latitude 23°33' Sul e longitude 46°50' Oeste. A presença do equipamento pluviômetro nesse ponto é relativamente nova, segundo a CEMADEN ele foi instalado em 2013. Porém, foram disponibilizados os dados a partir de agosto de 2015. A partir desses índices, foram calculadas as médias mensais de 01/08/2015 a 31/12/2018. Então, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 3 com as médias pluviométricas adquiridas, tornando possível observar a sazonalidade local.



FIGURA 2: Fachada da Residência e vista aérea

FONTE: Autor (2016); Google Earth (2018).

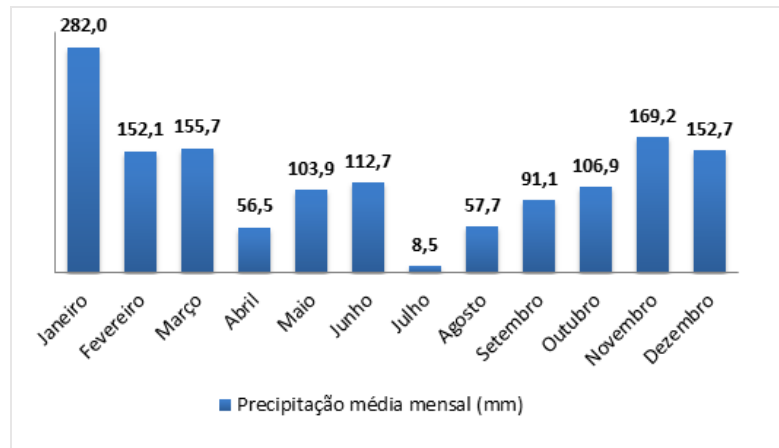


FIGURA 3: Precipitação média mensal 2015 - 2018

FONTE: Adaptado CEMADEN (2019).

### 4.3.2 Área de captação

A área de captação foi obtida a partir de medidas verificadas na planta de cobertura do imóvel, seu cálculo foi realizado por meio do software AutoCad, já que segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007) o cálculo da área de captação é a projeção das medidas do telhado na horizontal. A área obtida foi de cerca de 87,15 m<sup>2</sup>.

### 4.3.3 Demanda para uso de água não potável

Outro dado levantado foi o consumo de água em atividades que não demandam a utilização de água potável, ou seja, aquelas que poderão usufruir da água proveniente do sistema de aproveitamento de águas pluviais. Foi levantada a quantidade de água dispendida para a limpeza de quintal/calçada, lavagem de veículos e rega de jardim e a frequência em que essas atividades são realizadas. No caso da rega de jardim, que é efetuada com mangueira, foi calculada a vazão do equipamento. Para realizar esse cálculo foi usado um recipiente de volume conhecido e cronômetro, responsável por apontar o tempo necessário para o enchimento do recipiente. Posteriormente foi cronometrado o tempo médio gasto diariamente na rega, que foi medido em sete ocasiões distintas, e através da multiplicação entre vazão e tempo gasto na atividade pode-se obter a demanda de água da mesma, como pode ser visto na Equação 1.

$$D_{rj} = Q_m \times t \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

$D_{rj}$  = demanda diária de água usada na rega de jardim (L);

$Q_m$  = vazão da mangueira (L/min);

$t$  = tempo médio de duração da rega de jardim (min).

Nas outras atividades, que são realizadas com baldes, foram estabelecidos como dados necessários para encontrar a demanda de água o volume do recipiente e a quantidade de recipientes utilizados na atividade. Em seguida, foi levantada a frequência em que essas atividades ocorriam. Dessa maneira, foram obtidas as demandas semanal e mensal de água para uso não potável. O cálculo está representado na Equação 2.

$$D_l = V_r \times q \times f \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

$D_l$  = demanda semanal de água para as atividades de limpeza de calçada, quintal e lavagem de veículos (L);

$V_r$  = volume do recipiente utilizado (L);

$q$  = quantidade de recipientes usados no desenvolvimento da atividade;

$f$  = frequência com que a atividade ocorre (vezes/semana).

Por fim, foi realizado o cálculo da demanda mensal por água não potável. Expresso, a seguir, na Equação 3.

$$D = D_{ij} + D_i \quad \text{Eq.}[3]$$

Em que:

- D** = demanda mensal da água não potável (L);  
**D<sub>ij</sub>** = Demanda mensal usada na irrigação de jardim (L);  
**D<sub>i</sub>** = demanda mensal de água para as atividades de limpeza de calçada, quintal e lavagem de veículos (L).

**4.3.4 Coeficiente de runoff**

Segundo Tomaz (2010), o coeficiente de *runoff* para telhas de material cerâmico é 0,8, para aquelas de cimento amianto está entre 0,8 a 0,9, já para as telhas de metal está entre 0,7 a 0,9 e para as de plástico encontra-se entre 0,9 e 0,95. Para os cálculos realizados neste estudo o coeficiente de *runoff* adotado foi de 0,8, posto que o telhado do objeto de estudo é composto por telhas de material cerâmico.

**4.4 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA PLUVIAL**

O reservatório está ligado à confiabilidade do sistema, desempenhando um papel primordial em evitar ocorrências em que a quantidade de água é insuficiente para atender à demanda. As principais variáveis a serem levadas em consideração no dimensionamento devem ser: demanda de água, áreas de captação e regime pluviométrico (MARINOSKI, 2007).

Não há apenas um método de se calcular o dimensionamento de um reservatório de água pluvial, ou seja, não existe ainda um método ideal/único. Neste estudo, foram abordados os apresentados na NBR 15527 (ABNT, 2007), e a partir de comparação e análise dos resultados foi escolhido o método que melhor se encaixa no caso estudado e este foi então considerado como o volume ideal. A seguir serão apresentados os métodos de cálculo.

**4.4.1 Método de Rippl**

Segundo Tomaz (2010), no método de Rippl podem ser empregadas as séries históricas mensais, do período de tempo mais extenso possível, ou diárias de precipitação. Caso opte-se

por fazer o dimensionamento usando a série diária de precipitação, utiliza-se uma série histórica de no mínimo 10 anos de precipitações diárias, caso este dado não esteja disponível deverá ser empregada a série mensal. No desenvolvimento desta pesquisa são utilizados os totais mensais das séries históricas. Para o dimensionamento as Equações 4, 5 e 6 a seguir devem ser aplicadas:

$$S_t = D_t - Q_t \quad \text{Eq.}[4]$$

$$Q_t = C \times P \times A \quad \text{Eq.}[5]$$

$$V = \sum S_t, \text{somente para valores } S_t \text{ maior que zero} \quad \text{Eq.}[6]$$

Em que:

- S<sub>t</sub>** = volume de água pluvial no reservatório no tempo t (L);  
**D<sub>t</sub>** = demanda ou consumo de água pluvial no tempo t (L);  
**Q<sub>t</sub>** = volume de água pluvial no tempo t (L);  
**C** = coeficiente de *runoff*/escoamento superficial (adimensional);  
**P** = precipitação média no tempo t (mm);  
**A** = área de captação em projeção no terreno (m<sup>2</sup>);  
**V** = volume do reservatório (L).

**4.4.2 Método da Simulação**

Para este método são estabelecidas pela NBR 15527 (ABNT, 2007) duas pressuposições:

- (a) o reservatório está cheio no início da contagem do tempo t;  
 (b) os dados históricos são representativos para as condições futuras.

A norma também recomenda que, nesse método, a evaporação da água não seja levada em conta. O método da Simulação toma como base a determinação do percentual de consumo que será atendido em função de um tamanho de reservatório previamente definido. De acordo com Tomaz (2010), uma característica deste método é que ele permite determinar a eficiência do sistema, pois os períodos em que o reservatório está suficientemente abastecido com água pluvial são relacionados com todo o período simulado. Tal período pode ser de apenas um ano mas, quanto maior a série histórica de precipitação utilizada, maior será a confiabilidade da simulação. Assim

sendo, neste método de cálculo é deduzido um volume para o reservatório e então é feita uma verificação do que ocorre, ou seja, é um método de tentativa e erro. O dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método da Simulação tem início pelo cálculo do volume de água pluvial no tempo  $t$  e do volume de água pluvial no reservatório no tempo  $t$ , através das Equações 5 e 7 respectivamente.

$$S_t = Q_t + S_{t-1} - D_t \quad \text{Eq. [7]}$$

#### Em que:

- $S_t$  = volume de água pluvial no reservatório no tempo  $t$  (L);
- $Q_t$  = volume de água pluvial no tempo  $t$  (L);
- $S_{t-1}$  = volume de água pluvial no reservatório no tempo  $t-1$  (L);
- $D_t$  = demanda ou consumo de água pluvial no tempo  $t$  (L).

Define-se, posteriormente, um volume de reservatório  $V$  (volume do reservatório fixado) que atenda, para o mês de janeiro, à condição  $V \geq S(t) \geq 0$ . Se essa condição for atendida ao longo dos demais 11 meses do ano, esse volume  $V$  é o volume a ser adotado no reservatório. Se a condição não for atendida, deve-se determinar outro volume de reservatório  $V$  até que se atenda à condição  $V \geq S(t) \geq 0$  para os 12 meses do ano.

#### 4.4.3 Método Azevedo Neto

Segundo Cohim et al. (2008), este método também é conhecido como Método Prático Brasileiro e é o primeiro método empírico apresentado pela NBR 15527 (ABNT, 2007). Neste método, diferente dos que foram apresentados até o momento, é desconsiderada a influência da demanda, levando-se em conta apenas a precipitação média anual, a área de captação e o período de estiagem (mensal). O volume do reservatório é calculado mediante a Equação 8. O coeficiente 0,042 existe para assegurar que o tempo máximo de retenção da água na cisterna seja de, aproximadamente, 15 dias durante um ano (ANQUIP, 2009).

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad \text{Eq. [8]}$$

#### Em que:

- $V$  = volume de água no reservatório, ou o volume do reservatório de água pluvial (L);
- $P$  = precipitação média anual (mm);
- $A$  = área de captação em projeção no terreno ( $m^2$ );
- $T$  = número de meses de pouca chuva ou seca.

Não é especificado na NBR 15527 (ABNT, 2007) como determinar o número de meses de pouca chuva. Desta forma, foi adotado para o cálculo de  $T$  que os meses com precipitação igual ou inferior a 70% da média mensal seriam considerados como meses de pouca chuva. Na Tabela 1 pode-se observar os valores das precipitações média anual e mensal, assim como o valor desta última multiplicado por 70% e a quantidade de meses de pouca chuva adotados para o dimensionamento.

**TABELA 1: Meses de pouca chuva**

<b>Precipitação média anual (mm)</b>	1449
<b>Precipitação média mensal (mm)</b>	121
<b>70% da Precipitação média mensal (mm)</b>	85
<b>T (meses)</b>	3

FONTE: Adaptado CEMADEN (2019).

#### 4.4.4. Método Prático Alemão

Este método, também empírico, segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007) considera que o tamanho do reservatório será 6% da demanda anual por água pluvial ou do volume anual de precipitação captada, adotando aquele que for menor. O cálculo deste método está expresso na Equação 9, apresentada abaixo.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín}(V; D) \times 0,06 \quad \text{Eq. [9]}$$

#### Em que:

- $V_{\text{adotado}}$  = volume do reservatório (L);
- $V$  = volume de água pluvial anual (L);
- $D$  = demanda anual da água não potável (L).



Na NBR 15527 (ABNT, 2007) não está explícito como se obtém o volume de água pluvial anual pelo método Prático Alemão. Sendo assim, esse valor foi obtido com o uso da Equação 5. A demanda anual de água não potável, por sua vez, foi obtida por meio da multiplicação da demanda mensal (Equação 3) por 12 meses.

#### 4.4.5 Método Prático Inglês

Este método é similar ao de Azevedo Neto, segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007) para o cálculo do volume do reservatório de água pluvial deve-se utilizar a Equação 10.

$$V = 0,05 \times P \times A \quad \text{Eq.}[10]$$

Em que:

- V** = volume de água aproveitável e o volume do reservatório de água pluvial (L);
- P** = precipitação média anual (mm);
- A** = área de captação em projeção no terreno (m<sup>2</sup>).

#### 4.5.6 Método Prático Australiano

Este é o último método sugerido pela NBR 15527 (ABNT, 2007), o primeiro passo no dimensionamento segundo o método prático australiano é o cálculo do volume de chuva, apresentado na Equação 11. Em seguida, é efetuado o cálculo do volume do reservatório através de tentativas, considerando o reservatório vazio no primeiro mês, até que seja alcançado um valor dentro de um intervalo de confiança de 90% a 99%. O cálculo do volume pode ser visto abaixo na Equação 12. Sendo que quando  $V(t-1) + Q(t) - D(t) < 0$ , então o  $V(t) = 0$ . O cálculo da confiança é realizado por meio das Equações 13 e 14.

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad \text{Eq.}[11]$$

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad \text{Eq.}[12]$$

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad \text{Eq.}[13]$$

$$\text{Confiança} = (1 - P_r) \quad \text{Eq.}[14]$$

Em que:

- Q** = volume mensal de água pluvial (L);
- A** = área de captação em projeção no terreno (m<sup>2</sup>);
- C** = coeficiente de *runoff*/escoamento superficial (adimensional);
- P** = precipitação média mensal (mm);
- I** = interceptação da água que molha as superfícies e as perdas por evaporação (de acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2007), geralmente adota-se como 2 mm);
- V<sub>t</sub>** = volume de água pluvial que está no reservatório no fim do mês t (L);
- V<sub>t-1</sub>** = volume de água pluvial que está no reservatório no início do mês t (L);
- Q<sub>t</sub>** = volume de água pluvial no mês t (L);
- D<sub>t</sub>** = demanda mensal de água não potável (L);
- P<sub>r</sub>** = falha do sistema;
- N<sub>r</sub>** = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda (quando  $V_t = 0$ );
- N** = número de meses considerados (geralmente 12 meses).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 DEMANDA PARA USO DE ÁGUA NÃO POTÁVEL

Outra etapa do estudo foi calcular o consumo de água em atividades que não demandam a utilização de água potável, ou seja, aquelas que poderão usufruir da água proveniente do sistema de aproveitamento de águas pluviais. Foi verificada a quantidade de água dispendida para a limpeza de pisos de quintal e calçada, lavagem de veículos e rega de jardim, e a frequência em que essas atividades são realizadas baseado em informações fornecidas pelos moradores da residência. Esses dados coletados são necessários para estimar a demanda para o uso de água pluvial, valor que será usado no dimensionamento do reservatório do sistema de aproveitamento de água pluvial.

Através das equações apresentadas no item 4.3.3 foram obtidas as demandas mensais de água para uso não potável. Os valores de demandas mensais obtidos até esse ponto foram então somados e foi encontrado o valor total da demanda de água para uso não potável da residência, apresentado na Tabela 2.



**TABELA 2:** Demanda mensal total

Atividade	Consumo (L)	Consumo (m <sup>3</sup> )
Rega de jardim	412,52	0,41
Lavagem de veículos	768,00	0,77
Lavagem de calçada/quintal	1344,00	1,34
<b>Total</b>	<b>2524,52</b>	<b>2,52</b>

FONTE: Autoria própria (2019)

## 5.2 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA PLUVIAL

Nesta seção apresentam-se os resultados dos dimensionamentos dos reservatórios de água pluvial calculados pelos diferentes métodos apresentados na NBR 15527 (ABNT, 2007) aplicados ao caso estudado, bem como efetua-se uma comparação entre os resultados obtidos através da utilização dos mesmos.

### 5.2.1 Método de Rippl

O volume do reservatório, segundo dimensionamento efetuado pelo Método de Rippl, foi realizado aplicando as variáveis, que no caso são precipitação média mensal, coeficiente de escoamento superficial, área de captação e demanda mensal para uso de água pluvial, nas equações presentes no item 4.4.1.

Foram utilizados os dados de precipitação média mensal dos anos de 2015 a 2018, fornecidos pela CEMADEN. O coeficiente de escoamento superficial adotado foi de 0,80, para telhas de material cerâmico, indicando que 20% da água de chuva captada corresponde a perdas devido limpeza de telhado, evaporação e descarte (May, 2004). Por meio da análise da planta de cobertura da residência, verificou-se que a área captação do telhado é de cerca de 87,15 m<sup>2</sup>. A demanda mensal para uso de água pluvial calculado foi de 2524,52 litros/mês, ou seja, 2,52 m<sup>3</sup>/mês.

**TABELA 3:** Dimensionamento utilizando o Método de Rippl.

Meses	Chuva média mensal	Demanda mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Diferença entre o volume da demanda e volume de chuva
	P (mm)	D <sub>(t)</sub> (m <sup>3</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	Q <sub>(t)</sub> (m <sup>3</sup> )	S <sub>(t)</sub> (m <sup>3</sup> )
Janeiro	282	2,52	87,15	20	-17,48
Fevereiro	152,1	2,52	87,15	11	-8,48
Março	155,7	2,52	87,15	11	-8,48
Abril	56,5	2,52	87,15	4	-1,48
Mai	103,9	2,52	87,15	7	-4,48
Junho	112,7	2,52	87,15	8	-5,48
Julho	8,5	2,52	87,15	1	1,52
Agosto	57,7	2,52	87,15	4	-1,48
Setembro	91,1	2,52	87,15	6	-3,48
Outubro	106,9	2,52	87,15	7	-4,48
Novembro	169,2	2,52	87,15	12	-9,48
Dezembro	152,7	2,52	87,15	11	-8,48
<b>Total</b>	<b>1449</b>	<b>30,24</b>		<b>102</b>	<b>Volume=1,52</b>

FONTE: Adaptado ABNT (2007).

A TABELA 3 apresenta os resultados dos cálculos efetuados e é possível observar que a condição para a utilização desse método, que é o somatório das demandas no tempo  $t$  deve ser menor do que o somatório do volume de água de chuva aproveitável no tempo  $t$  ( $\Sigma D(t) < \Sigma Q(t)$ ), é atendida. Visto que  $\Sigma D(t) = 30,24\text{m}^3 < \Sigma Q(t) = 102\text{m}^3$ . Por fim, o volume do reservatório utilizando esse método foi de  $1,52\text{m}^3$ .

### 5.2.2 Método da Simulação

No método da simulação foram

utilizados os dados referentes à precipitação média mensal, demanda de água mensal e área de captação. Esse método trabalha com hipóteses de volumes de reservatórios, ou seja, tem-se que adotar um volume, realizando tentativas. Foi considerado um volume de  $3\text{m}^3$  para este, aplicando-se as Equações 5 e 7, conforme mostra a Tabela 4. Como o suprimento de água externo zerou em todos os meses utilizando um reservatório de  $3\text{m}^3$ , esse foi o volume de água considerado para esse reservatório.

**TABELA 4:** Dimensionamento do reservatório utilizando o Método da simulação.

Meses	Chuva média mensal (mm)	Demanda mensal ( $\text{m}^3$ )	Área de captação ( $\text{m}^2$ )	Volume de chuva mensal ( $\text{m}^3$ )	Volume do reservatório fixado ( $\text{m}^3$ )	Volume do reservatório no tempo (t-1) ( $\text{m}^3$ )	Volume do reservatório no tempo (t) ( $\text{m}^3$ )
Janeiro	282	2,52	87,15	20	3	0	3
Fevereiro	152,1	2,52	87,15	11	3	3	3
Março	155,7	2,52	87,15	11	3	3	3
Abril	56,5	2,52	87,15	4	3	3	3
Mai	103,9	2,52	87,15	7	3	3	3
Junho	112,7	2,52	87,15	8	3	3	3
Julho	8,5	2,52	87,15	1	3	3	1,48
Agosto	57,7	2,52	87,15	4	3	1,48	2,96
Setembro	91,1	2,52	87,15	6	3	2,96	3
Outubro	106,9	2,52	87,15	7	3	3	3
Novembro	169,2	2,52	87,15	12	3	3	3
Dezembro	152,7	2,52	87,15	11	3	3	3
<b>Total</b>	1449	30,24		102			

FONTE: Adaptado ABNT (2007).

### 5.2.3 Método Azevedo Neto

Nesse método foi considerada a precipitação média anual de 1448,90 mm (2015 – 2018). Para se obter o número de meses de pouca chuva considerou-se os meses com precipitação menor que 85 mm, ou seja, os que não alcançam 70% da precipitação média mensal. Em seguida, aplicando a Equação 8, obteve-se um reservatório de 15,91 m<sup>3</sup>, como mostra a Tabela 5.

**TABELA 5:** Dimensionamento do reservatório utilizando o Método Azevedo Neto

<b>Chuva média anual (mm)</b>	1448,9
<b>Área de captação (m<sup>2</sup>)</b>	87,15
<b>Número de meses de pouca chuva</b>	3
<b>Volume do reservatório (Litros)</b>	15910,23
<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>	15,91

FONTE: Adaptado ABNT (2007).

### 5.2.4 Método Prático Alemão

Para este método foram consideradas precipitação anual média de 1448,90 mm e demanda anual média da água não potável de 30,24 m<sup>3</sup> (30240 L). Foi considerado que o tamanho do reservatório será 6% da demanda anual por água pluvial ou do volume anual de precipitação captada, adotando aquele que for menor (Tabela 6). Aplicando a Equação 9, obteve-se um volume de 1,81 m<sup>3</sup> (1814,40 L) para o reservatório calculado.

**TABELA 6:** Dimensionamento segundo o Método Prático Alemão utilizando a demanda média anual de água não potável

<b>Demanda anual de água não potável (L)</b>	<b>Volume aproveitável (L)</b>
30240	1814,40

FONTE: Adaptado ABNT (2007).

Porém, como a demanda por água pluvial é de 2,52 m<sup>3</sup>/mês o volume calculado por esse método seria insuficiente para supri-la.

### 5.2.5 Método Prático Inglês

Para esse método foram consideradas a precipitação média anual igual a 1448,90 mm e a área de captação de 87,15 m<sup>2</sup>. Aplicando a Equação 10 obteve-se um reservatório de 6,31 m<sup>3</sup>, conforme a Tabela 7.

**TABELA 7:** Dimensionamento utilizando o Método Prático Inglês

<b>Precipitação média anual (mm)</b>	1448,90
<b>Área de captação (m<sup>2</sup>)</b>	87,15
<b>Volume do Reservatório (L)</b>	6313,58
<b>Volume do Reservatório (m<sup>3</sup>)</b>	6,31

FONTE: Adaptado ABNT (2007).

### 5.2.6 Método Prático Australiano

Para realizar o cálculo do volume do reservatório pelo método australiano é necessário que se faça tentativas, considerando o reservatório vazio no primeiro mês, até que seja alcançado um valor dentro de um intervalo de confiança de 90% a 99%. O cálculo do volume é baseado na Equação 12 e resultou em um reservatório de volume igual a 3m<sup>3</sup>, como é mostrado na Tabela 8.

Na Tabela 9, é possível observar as outras tentativas que foram realizadas. O volume de 3m<sup>3</sup> foi escolhido, pois atende à condição de possuir mais de 90% de confiança e, também, atende à demanda mensal por água pluvial.

**Tabela 8:** Dimensionamento utilizando o Método Prático Australiano.

Meses	Precipitação média mensal	Volume de água pluvial no mês t	Demanda mensal	Volume de água pluvial no reservatório no início do mês t-1	Volume de água pluvial no reservatório no fim do mês t
	(mm)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
Janeiro	282	19,52	2,52	0	3,00
Fevereiro	152,1	10,46	2,52	3,00	3,00
Março	155,7	10,72	2,52	3,00	3,00
Abril	56,5	3,80	2,52	3,00	3,00
Mai	103,9	7,10	2,52	3,00	3,00
Junho	112,7	7,72	2,52	3,00	3,00
Julho	8,5	0,45	2,52	3,00	0,93
Agosto	57,7	3,88	2,52	0,93	2,30
Setembro	91,1	6,21	2,52	2,30	3,00
Outubro	106,9	7,31	2,52	3,00	3,00
Novembro	169,2	11,66	2,52	3,00	3,00
Dezembro	152,7	10,51	2,52	3,00	3,00

FONTE: Adaptado ABNT (2007).

**Tabela 9:** Demais volumes testados.

Volume do reservatório (m <sup>3</sup> )	Confiança do sistema (%)
1,00	83,00
3,00	91,00
5,00	100,00

FONTE: Adaptado ABNT (2007).

### 5.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO PROPOSTOS PELA NBR 15527

A Tabela 10 apresenta os volumes obtidos para o dimensionamento do reservatório de água pluvial.

Como pode ser analisado, foram encontradas divergências entre as diferentes metodologias propostas pela NBR 15527 (ABNT, 2007) para o dimensionamento de reservatórios.

Apesar disso, dentre os seis métodos propostos pela NBR 15527 (ABNT, 2007) aplicados ao objeto de estudo do presente trabalho não houve grande amplitude entre os resultados encontrados, visto que 4 dos 6 métodos utilizados chegaram em volumes de valores relativamente

próximos. Sendo eles: Método de Rippl, com volume obtido de 1,52 m<sup>3</sup>, Método prático alemão, com volume obtido de 1,81 m<sup>3</sup> e Métodos da simulação e prático australiano, ambos com volume obtido igual a 3 m<sup>3</sup>. Como os reservatórios são construídos com valores fechados de volume, os volumes obtidos foram arredondados para valores inteiros (volume considerado).

Nos outros dois métodos de cálculo, sendo eles: Método prático inglês (volume do reservatório encontrado: 6,31 m<sup>3</sup>) e o Método Azevedo Neto (volume do reservatório encontrado: 15,91 m<sup>3</sup>), a variação foi consideravelmente maior em relação aos outros quatro métodos, sendo considerado para o Método prático inglês um volume de 7 m<sup>3</sup> e para o método Azevedo Neto um volume de 16 m<sup>3</sup>.

**Tabela 10: Dimensionamento do reservatório**

Métodos	Reservatório (volume obtido)	Reservatório (volume considerado)
	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
<b>Método de Rippl</b>	1,52	2,00
<b>Método da Simulação</b>	3,00	3,00
<b>Método Azevedo Neto</b>	15,91	16,00
<b>Método Prático Alemão</b>	1,81	2,00
<b>Método Prático Inglês</b>	6,31	7,00
<b>Método Prático Australiano</b>	3,00	3,00

FONTE: Adaptado ABNT (2007).

Comparando os resultados encontrados é possível observar que o método Azevedo Neto obtém um volume muito maior que os outros métodos, superdimensionando o volume do mesmo, o que teria um impacto econômico na implantação de um reservatório, ou seja, tornaria sua aplicação mais onerosa podendo inviabilizar a implantação do sistema. Outro método que superdimensiona o volume do reservatório é o método inglês. Esses dois métodos de cálculo levam em consideração a precipitação anual e área de captação, mas não a demanda, o que pode ter colaborado para o superdimensionamento. Reservatórios dimensionados por esses métodos podem ser aplicados em locais em que se almeja suprir a demanda de água pluvial por todo o ano ou para a maior parte do ano possível, como, por exemplo, em regiões onde ocorre carência de água sazonalmente.

Os métodos de Rippl e o método alemão encontraram valores próximos (com variação entre si de 0,29m<sup>3</sup>) e menores, demonstrando que há um subdimensionamento do sistema, ou seja, eles não suprem totalmente a demanda por água pluvial e necessitariam do auxílio de outra fonte para atendê-la. Assim sendo, recomendados quando se deseja diminuir o volume do reservatório, diminuindo assim os gastos com a implantação do sistema.

Os métodos da simulação e o método australiano, por sua vez, atendem à demanda e não possuem um volume de valor tão elevado ao

ponto de impedir a sua implantação. O motivo de esses métodos terem atingido valores de volume mais satisfatórios deve-se ao fato de serem métodos de tentativa e erro, ou seja, pode-se realizar a simulação dos volumes de reservatórios até que se chegue à eficiência desejada para o sistema, de acordo com os interesses do proprietário. Demonstrando assim que esses métodos chegariam ao volume considerado ideal para o objeto de estudo em questão.

## 6. CONCLUSÃO

Pode-se então concluir que os resultados de volumes de reservatório obtidos não indicaram nenhum padrão constante e provavelmente cada caso terá um método que melhor se adequa à sua situação. Sendo assim, apesar da existência de dispersões entre os volumes atingidos para o reservatório de armazenamento de água pluvial para os métodos propostos pela NBR 15527, a escolha do mais apropriado dar-se-á de acordo com os interesses finais de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial e, também, em função da região de implantação. Por exemplo, em regiões com altos índices pluviométricos, deve-se optar por métodos que levem a volumes inferiores para o reservatório, o que o tornará mais economicamente viável. Enquanto em regiões com baixos índices o ideal seria utilizar métodos que superdimensionem o reservatório, para que a água captada nos períodos de chuva possa suprir a demanda nos

períodos de estiagem. Dessa forma, fica claro que é de suma importância que seja conduzido um estudo comparativo antes de escolher um método de dimensionamento, para evitar implantação de projetos inadequados.

Isto posto, a determinação do método mais adequado de dimensionamento pode ser fundamentada na comparação dos volumes obtidos, em sua viabilidade em termos de área disponível no local onde será construído o reservatório e também no custo da construção do reservatório, o qual muitas vezes pode ser a parte mais onerosa do sistema. Aliado ao aspecto econômico, o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, ao contribuir para a diminuição do consumo de água potável, resulta em ganho ambiental fundamental, visto que diminui a pressão sobre mananciais tornando possível que esses recursos sejam direcionados aos consumos mais nobres, e por isso deve ser estimulado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil**: Informe 2016. Brasília: ANA, 2016. 96 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. Brasília: ANA, 2015. 31 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: **Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis**. Rio de Janeiro, 2007.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES – CEMADEN. **Mapa interativo da Rede Observacional para Monitoramento de Risco de Desastres Naturais do Cemaden**. 2019. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>>. Acesso em: 03 jan. 2019.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. Simpósio De Recursos Hídricos Do Nordeste, 9, 2008, Salvador. **Anais eletrônicos**. Salvador: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2008. p. 1-16. Disponível em: <[http://teclim.ufba.br/site/material\\_online/publicacoes/pub\\_art74.pdf](http://teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art74.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2019.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO – EMPLASA. **Sobre a RMSP**. Disponível em: <<https://www.emplasa.sp.gov.br/RMSP>>. Acesso em: 27 set. 2019.

FERREIRA, M. I. P.; SILVA, J. A. F.; PINHEIRO, M. R. C. Recursos hídricos: água no mundo, no Brasil e no Estado do Rio de Janeiro. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes**, v. 2, n. 2, p.29-36, 2008. Semestral. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/boletim/article/viewFile/2177-4560.20080008/222>>. Acesso em: 27 set. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeções da população: Brasil e unidades da federação: revisão 2018**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

MARINOSKI, Ana Kelly. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis - SC**. 2007. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água da chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SPERANCETTA, D.; ALVES, J. V.; KRÜGER, C. M. **Captação de águas pluviais para abastecimento residencial**. da Vinci, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 29-42, 2004. Disponível em: <<http://www.up.edu.br/davinci/pdf02.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2019.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos. **Revista Multiciência**, Campinas, v. 1, p.48-62, out. 2003. Semestral. Disponível em: <<http://www.multiciencia.unicamp.br/art03.htm>>. Acesso em: 27 set. 2019.