

# Análise dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais sugeridos pela NBR 15527/07 com base na simulação diária

*Analysis of the rainwater tank sizing methods suggested by NBR 15527/07 through daily simulation*

João Luiz Boccia Brandão<sup>1</sup>, Priscila Marcon<sup>1\*</sup> 

## RESUMO

A fim de superar o problema de disponibilidade de água e preservar os recursos hídricos, têm sido buscadas fontes alternativas de água para satisfazer as atividades humanas. Entre as soluções encontradas, está a captação da água de chuva. Essa técnica é possível através da captação da precipitação em áreas impermeáveis e de seu armazenamento em reservatórios para viabilizar seu uso. O reservatório é, em geral, a parte mais dispendiosa da implantação desse sistema. O dimensionamento dessa estrutura pode ser realizado através de diferentes métodos, por isso, é necessário avaliar qual deles é o mais adequado. Para tanto, este trabalho analisou os métodos de dimensionamento de reservatórios sugeridos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), apresentados na norma NBR 15527/07, em relação aos seus desempenhos. A análise foi feita com base nos níveis de garantia de abastecimento alcançados de acordo com o método utilizado. A partir dos resultados obtidos, foi constatado que os métodos Rippl Diário e Mensal se destacam por gerarem reservatórios associados a garantias de abastecimento elevadas (entre 98 e 100%).

**Palavras-chave:** captação de água pluvial; métodos de dimensionamento; NBR 15527/07.

## ABSTRACT

To overcome the problem of water availability and to preserve water resources, there have been sought alternative sources of water to supply human activities. Among the available solutions, there is rainwater harvesting. This technique is based on capturing rainfall from impermeable areas and storing it in tanks to enable its use. The tank is, usually, the most expensive part of such a system. This structure design is possible through different methods, hence the need to evaluate which of those is the most appropriate one. Therefore, this paper analyzed the sizing methods suggested by the Brazilian Association of Technical Standards (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT), presented in the technical standard NBR 15527/07, concerning their performance levels. The analysis was based on the guarantee levels of supply achieved according to the method used. From the results obtained, the Daily and Monthly Rippl methods for producing tank capacities associated with the higher supply reliability (98 to 100%).

**Keywords:** rainwater harvesting; cisterns sizing; NBR 15527/07.

## INTRODUÇÃO

Para superar o problema de disponibilidade de água, outros recursos têm sido utilizados como um meio de preservar as fontes hídricas tradicionais — mananciais superficiais e subterrâneos (ANGRILL *et al.*, 2012). Entre as soluções disponíveis, encontra-se a captação e utilização da água de chuva (WARD; MEMON; BUTLER, 2012).

A captação da água de chuva utiliza estruturas já existentes em edificações, como telhados e instalações prediais pluviais, e o reservatório, na maioria dos casos, é a parte mais dispendiosa desse sistema (LI; BOYLE; REYNOLDS, 2010; RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

Por isso, um dos maiores desafios da utilização da água de chuva é o dimensionamento de cisternas (reservatórios de águas pluviais) de forma que a utilização do recurso seja viável técnica e financeiramente (AMORIM & PEREIRA, 2008; RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

Atualmente, no Brasil, a captação e a utilização de águas pluviais são regulamentadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da norma NBR 15527/07 (ABNT, 2007). Esse documento sugere seis métodos de dimensionamento de reservatório de água pluvial que são alvo de uma análise mais aprofundada na sequência deste trabalho.

O primeiro método descrito nessa norma técnica é o Rippl, procedimento de regularização de vazões que define a capacidade do

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo – São Carlos (SP), Brasil.

\*Autor correspondente: primarconi86@gmail.com

Recebido: 16/01/2014 - Aceito: 16/05/2018 - Reg. ABES: 129228

reservatório para um dado consumo. Ele foi concebido a fim de conferir 100% de garantia ao abastecimento. Desta forma, sua utilização acarreta reservatórios com grandes volumes (MIERZWA *et al.*, 2007; AMORIM & PEREIRA, 2008).

Outro procedimento descrito na norma é o da Simulação, que realiza um balanço hídrico por meio da aplicação da equação da continuidade a um volume de reservatório preestabelecido. Os métodos de dimensionamento que simulam continuamente o comportamento de um reservatório trazem melhores aproximações acerca do desempenho deste e também sobre o tempo de retorno do investimento realizado, mesmo em sistemas mais complexos (BRITISH STANDARDS, 2009; WARD; MEMON; BUTLER, 2012). Por isso, o método da simulação é amplamente utilizado e indicado para o dimensionamento de cisternas (CAMPISANO & MODICA, 2012; DORNELLES; GOLDENFUM; TASSI, 2012; FONTANELA *et al.*, 2012).

A NBR 15527/07 ainda sugere os métodos empíricos Prático Alemão, Azevedo Neto, também denominado de Prático Brasileiro, e o Prático Inglês (ABNT, 2007).

Por último, o método Prático Australiano é proposto pela NBR 15527/07. Nesse caso, o volume do reservatório é encontrado por tentativas até o balanço hídrico mensal resultar no nível de garantia de abastecimento desejado, utilizando médias pluviométricas mensais plurianuais (ABNT, 2007).

Embora esses métodos sejam recomendações técnicas da normatização brasileira, eles resultam em volumes de reservatórios significativamente diferentes quando aplicados para um mesmo cenário (DORNELLES; TASSI; GOLDENFUM, 2010; MORUZZI & OLIVEIRA, 2010), dificultando a decisão de qual método utilizar. Por isso, alguns autores compararam os métodos de dimensionamento sugeridos pela NBR 15527/07 a fim de selecionar qual deles poderia trazer os resultados mais adequados em relação ao volume de cisternas.

Entre esses estudos é possível citar a comparação dos seguintes métodos: Número máximo de dias sem chuva; Rippl Gráfico, com médias pluviométricas mensais plurianuais; Simulação, com índices pluviométricos mensais; Prático Inglês; Prático Alemão; e Azevedo Neto, realizado por Dornelles, Tassi e Goldenfun (2010). Este trabalho constatou que existe uma ampla dispersão de resultados obtidos para o mesmo cenário de dimensionamento. Além disso, concluiu que o método que apresentou os maiores volumes de reservatório foi o da Simulação e os menores, o Prático Alemão. O método Rippl, do modo como foi aplicado, permitiu que fossem calculados os volumes somente em cenários com período seco expressivo. Todavia, para os parâmetros considerados, o estudo em questão não indicou o melhor método de dimensionamento.

Os métodos Rippl, da Simulação, da Máxima Seca Anual e os Práticos Brasileiro, Inglês, Alemão e Australiano foram comparados em diferentes cenários de captação por Fontanela *et al.* (2012). Os resultados

obtidos indicaram que o método da Simulação, utilizando os índices pluviométricos diários, traz resultados mais aderentes à realidade, já que simula diariamente o comportamento do reservatório. Outro aspecto positivo de sua utilização é que ele permite obter o nível de garantia de abastecimento.

A dificuldade de aplicação dos métodos da NBR 15527/07 ocorre por conta da ambiguidade na denominação de variáveis e à falta de clareza sobre quais regras e dados devem ser utilizados no dimensionamento. Essa constatação é corroborada por Bezerra *et al.* (2010), que comparou os métodos de dimensionamento da NBR 15527/07 com o Decreto Municipal nº 293/2006 de Curitiba, no Paraná. Assim, a descrição dos métodos na norma deveria ser revisada, a fim de torná-los mais claros e facilitar a interpretação dos seus resultados.

Com isto posto, e considerando que a NBR 15527/07 é o atual referencial técnico brasileiro para o aproveitamento de água pluvial, este estudo tem por finalidade analisar os métodos de dimensionamento por ela sugeridos. Esse objetivo foi atingido a partir da aplicação da simulação diária das cisternas resultantes da aplicação dos métodos sugeridos pela norma e do cálculo de suas garantias de abastecimento, parâmetro utilizado para embasar a análise comparativa dos resultados produzidos por esses métodos.

## METODOLOGIA

A metodologia empregada para analisar os métodos de dimensionamento sugeridos pela NBR 15527/07 consiste em, inicialmente, descrever os cenários fictícios de captação e consumo de água pluvial que serviram de base para dimensionar os reservatórios. Depois, são apresentados os procedimentos de cálculo dos métodos sugeridos pela norma, os quais foram empregados a fim de dimensionar cisternas para os diferentes cenários de captação da água de chuva. Por último, segue a explicação de como foram realizados os cálculos para a simulação diária dos reservatórios anteriormente dimensionados e de suas garantias de abastecimento, parâmetro que foi utilizado para a análise de desempenho.

### Cenários de captação e uso de água pluvial

As cisternas foram dimensionadas para diferentes condições de captação de água de chuva e consumo de água pluvial. As informações necessárias ao cálculo dos volumes dos reservatórios variaram conforme o método de dimensionamento. Em geral, foram necessários a área e o material da superfície de captação, os índices pluviométricos, o descarte da primeira chuva e o consumo de água.

Os cenários de captação de água pluvial foram definidos com base na área de captação e no consumo de água. As áreas dos telhados utilizadas foram 100, 200, 300, 400 e 500 m<sup>2</sup>. Já o consumo de água pluvial partiu de um valor mínimo de 4 m<sup>3</sup>.mês<sup>-1</sup>, sendo incrementado

de 4 em 4 m<sup>3</sup> até 40 m<sup>3</sup>.mês<sup>-1</sup>. Com isso, os cenários representam edificações com situações de baixo consumo de água pluvial até consumos mais elevados.

O descarte da primeira chuva foi desconsiderado por questões técnicas operacionais da modelagem empregada, e o material da superfície de captação foi igual em todos os cenários propostos, para não influenciar os resultados dos volumes calculados.

O material da superfície de captação selecionado foi a telha cerâmica, por ser uma cobertura comum em edificações urbanas, que possui o coeficiente de *runoff* igual a 0,8 (FENDRICH, 2002). Assim, o volume de água captável foi multiplicado por esse coeficiente, de modo que as perdas consequentes da captação de chuva no telhado de cerâmica fossem consideradas.

Os índices pluviométricos utilizados nos cenários fictícios foram os do município de São Carlos, em São Paulo. Estes foram obtidos na base de dados do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo (SIGRH, 2012). Foi utilizada a série histórica de 1980 a 2000, do posto pluviométrico D5-076, por apresentar a menor quantidade de dados faltantes.

O tamanho da série histórica, considerado no dimensionamento do reservatório, influencia o nível de garantia de abastecimento. Isso ocorre porque séries históricas extensas, entre 15 e 24 anos, englobam, em de seus dados, variações sazonais que séries históricas pequenas não abrangem (MITCHELL *et al.*, 2008). Assim, quanto maiores as séries históricas e menor a sua resolução temporal, melhor será a precisão do resultado. Por isso, foi selecionada uma série longa de índices pluviométricos diários, com 21 anos de extensão. Os índices pluviométricos foram trabalhados conforme as exigências dos métodos avaliados.

## Dimensionamento dos reservatórios com os métodos da NBR 15527/07

### Método Rippl mensal e diário

Os métodos de dimensionamento de reservatório Rippl Mensal e Rippl Diário consideram que o volume do reservatório é a soma acumulada, dos valores maiores que 0 e consecutivos, da diferença entre a demanda de água de chuva e o volume de água aproveitável (ABNT, 2007). Isso pode ser representado através da Equação 1:

$$V = \sum S(t), \text{ se } S(t) > 0 \quad (1)$$

Considerando que:  $S(t) = D(t) - Q(t)$ ;  $Q(t) = R \times P(t) \times A$   $\sum D(t) < \sum Q(t)$

Em que:

V = o volume do reservatório (m<sup>3</sup>);

S(t) = o volume de água no reservatório em t (m<sup>3</sup>);

D(t) = a demanda de água em t (m<sup>3</sup>);

Q(t) = o volume de chuva aproveitável em t (m<sup>3</sup>);

R = o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*);

P(t) = o índice pluviométrico mensal ou diário em t (m<sup>3</sup>);

A = a área da superfície de captação de água de chuva (m<sup>2</sup>).

Esta formulação deve resolver o método de forma analítica. Todavia, o método Rippl pode ser aplicado tanto na forma analítica quanto na gráfica, não descrita na norma. As técnicas devem ter resultados aproximadamente iguais, quando aplicadas para uma mesma situação (TOMAZ, 2003).

A fim de verificar a concordância entre a descrição do método Rippl na NBR 15527/07, foi realizada uma simulação com ambos os métodos para o ano 2000. Os parâmetros de captação simulados foram: área da superfície de captação de 300 m<sup>2</sup>, coeficiente de *runoff* de 0,8 e demanda de água pluvial de 20 m<sup>3</sup>.

No método Rippl Gráfico, são traçadas as curvas dos volumes acumulados de água de chuva captada e das demandas de água pluvial acumuladas. Essas duas curvas formam o diagrama de massas. O volume do reservatório é obtido por intermédio do traçado de duas paralelas à reta das demandas acumuladas: uma que tangencie o ponto mais alto da curva de volume captado acumulado e outra, o ponto consecutivo mais baixo da mesma curva, que representam os instantes de acumulação máxima e mínima, respectivamente. A distância vertical entre essas duas paralelas é o volume do reservatório, ou seja, o máximo déficit do período analisado.

A partir dos resultados apresentados no item Método de Rippl Mensal, dentro da seção Resultados, foi possível perceber que esse método, tal como está descrito na NBR 15527/07, não resulta no mesmo volume de reservatório obtido com o método gráfico, indicando uma não conformidade em sua descrição. Desse modo, o volume do reservatório foi obtido com o método Rippl através do cálculo do maior valor entre as diferenças acumuladas da demanda de água pluvial e o volume de água captada. Esse procedimento pode ser observado na Equação 2:

$$V = \text{Máximo } S(t) \quad (2)$$

Considerando que:  $S(t) = \sum_1^t D(t) - Q(t)$ , para todo  $[D(t) - Q(t)] > 0$ ;

$Q(t) = R \times P(t) \times A$

Em que:

V = o volume do reservatório (m<sup>3</sup>);

S(t) = a soma parcial acumulada das diferenças positivas entre a demanda de água e o volume de água captável até o tempo t (m<sup>3</sup>);

D(t) = a demanda de água em t (m<sup>3</sup>);

Q(t) = o volume de chuva aproveitável em t (m<sup>3</sup>);

R = o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*);

P(t) = o índice pluviométrico mensal ou diário em t (m<sup>3</sup>);

A = a área da superfície de captação de água de chuva (m<sup>2</sup>).

### Método da simulação mensal

O método da Simulação Mensal parte de um reservatório com volume predefinido para simular o comportamento do volume de água armazenado no reservatório ao longo da série histórica estudada (ABNT, 2007). Com isso, são calculados os meses nos quais o reservatório selecionado atende ou não à demanda de água pluvial.

Considerando que o reservatório escolhido está cheio no início da simulação, é subtraído o volume de água consumido e é somado o volume de água captado durante o primeiro mês analisado. A partir do segundo mês, o volume inicial contabilizado é o resultante do balanço hídrico do mês anterior. O balanço acontece desse modo até o fim da série histórica considerada.

No método da Simulação Mensal, são utilizados índices pluviométricos sem tratamento estatístico. Ele é baseado na equação da continuidade, que é representada pela Equação 3:

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t) \quad (3)$$

Considerando que:  $Q(t) = R \times P(t) \times A$ ;  $0 < S(t) < V$ ; Se  $S(t) < 0$ , então  $S(t) = 0$

Em que:

$S(t)$  = o volume de água no reservatório no mês  $t$  ( $m^3$ );

$Q(t)$  = o volume de chuva no mês  $t$  ( $m^3$ );

$S(t-1)$  = o volume de água no reservatório no mês  $t-1$  ( $m^3$ );

$D(t)$  = o consumo ou a demanda no mês  $t$  ( $m^3$ );

$R$  = o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*);

$P(t)$  = o índice pluviométrico mensal no mês  $t$  ( $m^3$ );

$A$  = a área da superfície de captação de água de chuva ( $m^2$ );

$V$  = o volume do reservatório escolhido ( $m^3$ ).

O resultado obtido com a utilização desse procedimento é a constatação de em quais meses o sistema é capaz ou não de suprir a demanda de água pluvial. Como a simulação parte de um reservatório com volume inicial escolhido para simular o balanço hídrico, esse método foi complementado para produzir os resultados necessários.

Para tanto, o suplemento Solver, do *software* Microsoft Office Excel<sup>®</sup>, foi utilizado para gerar o volume de reservatório que suprisse, em toda a série histórica, o consumo de água pluvial, ou seja, para não ocorrer falha no abastecimento. Assim, foi definida uma restrição no Solver para que os valores de  $S(t)$  fossem maiores que zero, isto é, para que o volume de água de chuva armazenado fosse o suficiente para suprir o consumo de água pluvial total. O volume do reservatório foi minimizado no suplemento a fim de resultar no menor volume de reservatório que respeitasse a condição descrita.

### Método Azevedo Neto

Com o método Azevedo Neto, o volume do reservatório é dimensionado por meio da multiplicação das médias dos totais anuais de precipitação pela área de captação, pela quantidade de meses com pouca chuva e pelo coeficiente 0,042 (ABNT, 2007), o qual existe para assegurar que o tempo máximo de retenção da água na cisterna seja de, aproximadamente, 15 dias durante um ano (ANQUIP, 2009). A Equação 4 representa esse procedimento:

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

Em que:

$V$  = o volume do reservatório (L);

$P$  = a média dos totais anuais de precipitação (mm);

$A$  = a área da superfície de captação de água de chuva ( $m^2$ );

$Ms$  = a quantidade de meses com pouca chuva ou seca.

A NBR 15527/07 não detalha os critérios de escolha dos meses com pouca chuva ou seca. Nesta pesquisa, foi estabelecido que esse parâmetro fosse baseado no histograma da série histórica do município de São Carlos. Assim, foram calculadas as médias pluviométricas mensais multianuais e foi construído o histograma apresentado na Figura 1.

Com base nesse histograma, foi possível observar que julho e agosto apresentam os menores índices pluviométricos. Dessa maneira, esta pesquisa considerou que os meses classificados como de pouca chuva, em São Carlos, são os que apresentavam médias mensais plurianuais inferiores a 30 mm, ou seja, 2 meses. A escolha dessa quantidade de

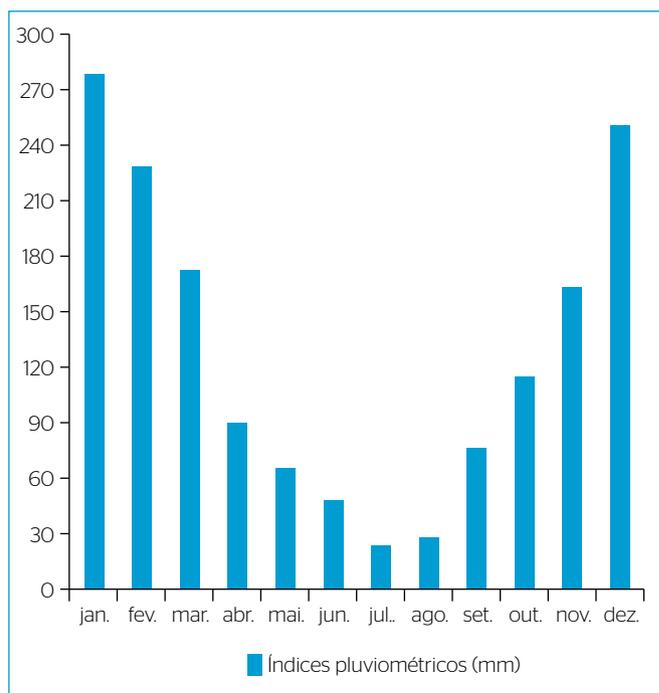


Figura 1 - Histograma do município de São Carlos.

meses é corroborada por Amorim e Pereira (2008), que, em seu estudo, encontraram o mesmo valor para o mesmo município.

### Método Prático Alemão

Segundo o método Prático Alemão, o volume do reservatório de água de chuva é 6% do menor valor entre a demanda de água pluvial anual e o volume de água de chuva aproveitável durante um ano (ABNT, 2007). O coeficiente 0,06 é utilizado para que a água pluvial não fique retida mais de 22 dias (ANQUIP, 2009). O cálculo pode ser descrito pela Equação 5:

$$V = 0,06 \times \text{Mínimo} (D_a; V_a) \quad (5)$$

Considerando que:  $V_a = P_a \times R \times A$

Em que:

V = o volume do reservatório (L);

$D_a$  = a demanda anual de água pluvial (L);

$V_a$  = o volume de água de chuva aproveitável durante um ano (L);

$P_a$  = a média dos totais anuais de precipitação (mm);

R = o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*);

A = a área da superfície de captação de água de chuva ( $m^2$ ).

### Método Prático Inglês

Com o método Prático Inglês, o reservatório é dimensionado ao se multiplicar a média dos totais anuais de precipitação pela área da superfície de captação e pelo coeficiente 0,05 (ABNT, 2007), que garante que a água fique retida até 18 dias na cisterna (ANQUIP, 2009). Esse cálculo é sintetizado na Equação 6:

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

Em que:

V = o volume do reservatório (L);

$P_a$  = a média dos totais anuais de precipitação (mm);

A = a área da superfície de captação de água de chuva ( $m^2$ ).

### Método Prático Australiano

Para dimensionar um reservatório com o método Prático Australiano, é fixado um volume do reservatório inicial e verifica-se sua confiabilidade de abastecimento, adequando o volume do reservatório por tentativas até alcançar a garantia de abastecimento desejada (ABNT, 2007). O volume de água captável é obtido com a Equação 7:

$$Q(t) = R \times [P(t) - I] \times A \quad (7)$$

Considerando que:  $Q(t) = R \times P(t) \times A$ ;  $0 < S(t) < V$ ; Se  $S(t) < 0$ , então  $S(t) = 0$

Em que:

$Q(t)$  = o volume de chuva captável no mês t ( $m^3$ );

R = o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*);

$P(t)$  = a média pluviométrica mensal multianual para o mês t (m);

I = a perda por interceptação da água na superfície de captação ou por evaporação.

A descrição deste método na NBR 15527/07 sugere que a interceptação tem um valor aproximado de 0,002 m (ABNT, 2007), que foi o valor adotado nesta pesquisa;

A é a área da superfície de captação de água de chuva ( $m^2$ ).

A garantia de abastecimento do reservatório escolhido é calculada com base nos meses do ano nos quais o volume do reservatório não foi suficiente para suprir as demandas mensais. O cálculo da garantia do método é mostrado na Equação 8:

$$G = 100 \times (1 - M_f/M) \quad (8)$$

Em que:

G = a garantia de abastecimento com o volume do reservatório escolhido;

$M_f$  = o número de meses, durante o ano, em que o abastecimento falhou, ou seja,  $S(t) \leq 0$ ;

M = o número total de meses no ano.

A NBR 15527/07 sugere que a garantia para esse método seja de 90 a 99%. Neste estudo, foi utilizado o suplemento Solver, do Excel, minimizando o volume do reservatório e restringindo o valor de  $S(t)$  a fim de atingir garantia de abastecimento dentro do intervalo citado.

Garantia dos volumes obtidos com os métodos de dimensionamento da NBR utilizando o método de Simulação Diária

O método da Simulação que utiliza índices pluviométricos diários (Simulação Diária) não é proposto pela norma em questão, todavia foi utilizado por trazer resultados precisos devido à sua menor discretização temporal. Para medir o potencial de captação de água de chuva, esse método utiliza as séries históricas de totais diários de precipitação. Com isso, o método pode abranger as variabilidades de curto prazo dos eventos chuvosos (DORNELLES; TASSI; GOLDENFUM, 2010; FONTANELA *et al.*, 2012). Outro aspecto positivo de sua aplicação é a possibilidade de obtenção da garantia de abastecimento para diferentes reservatórios.

O método de Simulação Diária simula, diariamente, o comportamento do reservatório, considerando os índices pluviométricos diários da série histórica seguidos, ano após ano (FONTANELA *et al.*, 2012). A utilização desse procedimento é aconselhada quando é necessário analisar detalhadamente a variação do volume do reservatório ao longo do tempo (AMORIM & PEREIRA, 2008). A Equação 3 representa o equacionamento desse método, todavia, ao invés de utilizar dados pluviométricos mensais, são utilizados índices diários.

A garantia de abastecimento do reservatório pode ser calculada contando em quantos dias da série histórica seu volume foi suficiente para suprir as demandas diárias (McMACHON, 1993). O cálculo da garantia de abastecimento pode ser representado pela Equação 7, contabilizada com os dias que a demanda não é atendida e com o total de dias da série histórica.

Assim, os volumes encontrados no dimensionamento com os métodos da NBR 15527/07 foram testados no método da Simulação Diária. As simulações consideraram que o reservatório está cheio no início dos cálculos. Como resultados, foram obtidos os dias em que houve falhas no atendimento das demandas e a partir daí foram calculadas as respectivas garantias.

## RESULTADOS

### Método de Rippl Mensal

Por meio da Equação 1, o volume de reservatório necessário para suprir a demanda da situação descrita no subitem Método Rippl Mensal e Diário, em Metodologia, é de 62,3 m<sup>3</sup>. Esse resultado é diferente do obtido pelo método Rippl Gráfico, segundo o qual o volume do reservatório deve ser de 46,6 m<sup>3</sup>. O diagrama de massas resultante do método Rippl utilizando a técnica gráfica pode ser observado na Figura 2.

A discrepância entre os resultados ocorreu devido ao detalhamento insuficiente do método Rippl na NBR 15527/07. Isso porque a sua descrição na norma implica que o volume de reservatório seja

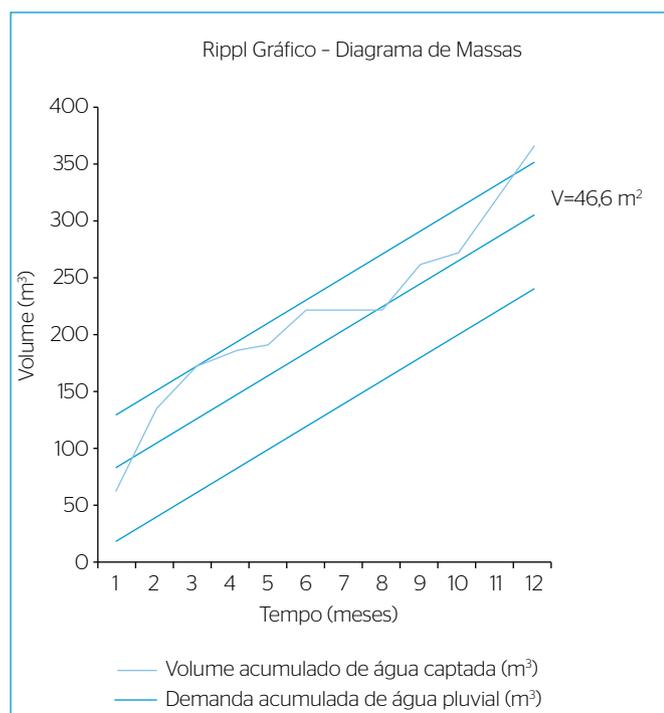


Figura 2 - Volume do reservatório obtido através do método Rippl Gráfico.

obtido através do somatório de todos os valores maiores que 0 entre a diferença da demanda e o volume mensal de água captável. Contudo, esse valor deve ser obtido pelas diferenças acumuladas entre a demanda e o volume de água captável (McMACHON, 1993). Com a correção do método, os volumes de reservatórios obtidos pelo método Rippl Mensal e seus respectivos níveis de garantia de abastecimento podem ser observados na Tabela 1.

A partir da observação da Tabela 1, é possível notar que o volume do reservatório aumenta com o incremento da demanda devido ao balanço hídrico no reservatório. Além do mais, é possível notar que o volume da cisterna necessário para suprir as demandas diminui na medida em que a área da superfície de captação aumenta, visto que o volume captável é maior.

Na Tabela 1, ainda é possível observar que os volumes de reservatório gerados pelo método Rippl Mensal tiveram garantias de abastecimento próximas de 100%. Esse resultado era esperado, visto que o método regulariza a vazão para suprir a demanda de água no período mais seco da série histórica.

### Método de Rippl Diário

Os volumes resultantes da aplicação do método Rippl Diário e as respectivas garantias de abastecimento podem ser observados na Tabela 2.

As constatações verificadas para o método Rippl Mensal também são válidas para a sua aplicação com índices pluviométricos diários.

Todas as garantias de abastecimentos obtidas foram iguais a 100%. Isso significa que os volumes de reservatórios expostos na Tabela 2 são suficientes para suprir as demandas de água dos cenários analisados sem a ocorrência de falhas. Os valores obtidos com esse procedimento são análogos aos que seriam obtidos com a Simulação Diária, a qual realiza o balanço hídrico a partir de índices pluviométricos diários, o que tende a gerar resultados mais precisos, uma vez que são consideradas as variações pluviométricas intramês.

A Tabela 3 mostra as diferenças percentuais entre os volumes calculados pelos métodos Rippl Diário e Rippl Mensal.

Os níveis de garantia dos volumes obtidos pelos dois métodos (Diário, 100% e Mensal, entre 98,4 e 100%) foram igualmente altos e são mais do que compatíveis com o risco de falha para um sistema de captação de águas pluviais. Contudo, ao se analisar as diferenças entre os volumes encontrados por esses dois métodos, conforme mostra a Tabela 3, nota-se que os volumes obtidos podem apresentar, para as mesmas condições de contorno, discrepâncias significativas. No geral, o método Rippl Diário tende a produzir volumes muito maiores para áreas de captação maiores e demandas menores. Porém, há episódios em que ocorre o contrário, ou seja, o Rippl

Diário produz reservatórios muito menores que os correspondentes ao Rippl Mensal, caso de demandas superiores a 20 m<sup>3</sup> para áreas de 200 m<sup>2</sup> e acima de 28 m<sup>3</sup> para áreas iguais a 300 m<sup>2</sup>. Para áreas de 100 m<sup>2</sup>, é possível observar que o Rippl Diário produz volumes pouco superiores para as demandas abaixo de 8 m<sup>3</sup>, e esse efeito se inverte para aquelas maiores. Para essa mesma área de captação, conforme aumentam as demandas, as diferenças diminuem significativamente.

Um fator que pode estar relacionado com tais diferenças, mas que não foi analisado neste estudo, é a magnitude dos déficits. Ou seja, na análise de desempenho dos volumes calculados a partir do método Rippl Mensal, que foi feita com base na Simulação Diária, não foi avaliada a magnitude dos déficits gerados, apenas as suas ocorrências. E, com esses dados, foram calculadas as frequências do não atendimento das demandas com base no número de dias em que estas não foram atendidas integralmente.

## Método da Simulação Mensal

Os volumes de reservatórios obtidos com o método da Simulação Mensal e, conseqüentemente, os níveis de garantia de abastecimento são iguais aos resultantes do Rippl Mensal. Isso porque o balanço realizado com os dois métodos é o mesmo, uma vez que foi considerado que o método da Simulação deveria abastecer toda a demanda de água, premissa do método de Rippl. Assim, como a discretização temporal de ambos os métodos é igual, os resultados da aplicação dos dois métodos são análogos.

As garantias de abastecimento do método da Simulação Mensal também são iguais às obtidas pelo método de Rippl Mensal, dado que os volumes dos reservatórios calculados por ambos são iguais. Contudo, é importante ressaltar uma diferença fundamental em relação a eles: enquanto o Rippl parte do princípio de que a demanda de água deve ser totalmente suprida pelo volume de água armazenado, a Simulação

**Tabela 1 - Volumes dos reservatórios e garantias de abastecimento dos diferentes cenários utilizando o método de dimensionamento Rippl Mensal.**

Demanda (m <sup>3</sup> )	Área=100 m <sup>2</sup>		Área=200 m <sup>2</sup>		Área=300 m <sup>2</sup>		Área=400 m <sup>2</sup>		Área=500 m <sup>2</sup>	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Garantia (%)								
4,0	15,3	99,4	12,2	99,5	10,3	99,1	8,4	98,4	8,0	98,4
8,0	41,6	99,7	30,7	99,4	26,3	99,5	24,4	99,5	22,5	99,3
12,0	717,8	100,0	55,3	99,5	46,0	99,4	40,4	99,4	38,5	99,5
16,0	1.706,6	100,0	83,3	99,7	70,0	99,4	61,3	99,4	55,2	99,4
20,0	2.698,6	100,0	476,3	100,0	96,9	99,6	85,3	99,4	76,6	99,4
24,0	3.697,2	100,0	1.435,6	100,0	124,9	99,7	110,6	99,5	100,6	99,4
28,0	4.705,2	100,0	2.423,6	100,0	330,0	100,0	138,6	99,6	124,6	99,5
32,0	5.713,2	100,0	3.413,1	100,0	1.169,2	100,0	166,6	99,7	152,2	99,5
36,0	6.721,2	100,0	4.405,1	100,0	2.153,4	100,0	309,6	100,0	180,2	99,6
40,0	7.729,2	100,0	5.397,1	100,0	3.141,4	100,0	952,7	100,0	208,2	99,7

**Tabela 2 - Volumes dos reservatórios obtidos pelo método Rippl Diário e suas garantias de abastecimento.**

Demanda (m <sup>3</sup> )	Área=100 m <sup>2</sup>		Área=200 m <sup>2</sup>		Área=300 m <sup>2</sup>		Área=400 m <sup>2</sup>		Área=500 m <sup>2</sup>	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Garantia (%)								
4,0	18,9	100,0	15,4	100,0	13,3	100,0	13,0	100,0	12,6	100,0
8,0	45,5	100,0	37,9	100,0	32,8	100,0	30,7	100,0	28,7	100,0
12,0	525,3	100,0	63,1	100,0	56,8	100,0	51,5	100,0	48,1	100,0
16,0	1.532,4	100,0	90,7	100,0	81,3	100,0	75,7	100,0	70,4	100,0
20,0	2.542,0	100,0	232,8	100,0	108,5	100,0	100,3	100,0	94,7	100,0
24,0	3.555,6	100,0	1.050,6	100,0	136,1	100,0	126,2	100,0	119,2	100,0
28,0	4.577,7	100,0	2.056,6	100,0	185,3	100,0	153,8	100,0	144,0	100,0
32,0	5.600,1	100,0	3.064,8	100,0	622,9	100,0	181,4	100,0	171,6	100,0
36,0	6.622,5	100,0	4.074,4	100,0	1.575,8	100,0	210,2	100,0	199,2	100,0
40,0	7.644,9	100,0	5.084,0	100,0	2.581,2	100,0	465,6	100,0	226,8	100,0

avalia o comportamento do reservatório sugerido, o que pode trazer informações mais relevantes ao dimensionamento de cisternas.

### Método Azevedo Neto

Os volumes de reservatórios encontrados utilizando o método de dimensionamento Azevedo Neto e suas correspondentes garantias de abastecimento podem ser observadas na Tabela 4.

A partir da análise da Tabela 4, é possível notar que o volume do reservatório varia somente com o incremento da área da superfície de captação, que é o único parâmetro que o método considera variar para uma dada configuração.

De acordo com a Tabela 4, nota-se que as garantias obtidas para os volumes dimensionados com o método Azevedo Neto decresceram à medida que a demanda aumentou. Esse método não considera em seu equacionamento a demanda de água pluvial. Desse modo, o mesmo volume de reservatório foi comparado com crescentes demandas

**Tabela 3 - Diferenças percentuais entre os volumes calculados pelos métodos Rippl Diário e Rippl Mensal.**

Demanda (m <sup>3</sup> )	Área= 100 m <sup>2</sup>	Área= 200 m <sup>2</sup>	Área= 300 m <sup>2</sup>	Área= 400 m <sup>2</sup>	Área= 500 m <sup>2</sup>
4	24%	26%	29%	55%	58%
8	9%	23%	25%	26%	28%
12	-27%	14%	23%	27%	25%
16	-10%	9%	16%	23%	28%
20	-6%	-51%	12%	18%	24%
24	-4%	-27%	9%	14%	18%
28	-3%	-15%	-44%	11%	16%
32	-2%	-10%	-47%	9%	13%
36	-1%	-8%	-27%	-32%	11%
40	-1%	-6%	-18%	-51%	9%

de água, resultando no decréscimo da garantia de abastecimento. Outra característica que pode ser observada na Tabela 4 é que quanto maior a superfície de captação, maiores foram os níveis de garantia. Isso ocorreu porque os volumes resultantes desse método variam conforme o tamanho da superfície de captação.

### Método Prático Alemão

Os volumes de reservatórios resultantes da aplicação do método Prático Alemão podem ser observados na Tabela 5. Nela também são encontrados os respectivos níveis de garantia de abastecimento dos reservatórios.

A Tabela 5 mostra que os reservatórios gerados por esse método aumentam em relação a consumos maiores. Contudo, isso ocorre apenas se o volume de água captável for menor que a demanda. Por conseguinte, como o volume de água captável é proporcional à área da superfície de captação, o reservatório aumenta conforme a área da superfície de captação for incrementada.

É possível notar a diminuição dos níveis de garantia obtidos para os volumes dimensionados com o método Prático Alemão com o aumento da demanda de água. Isso é decorrente do equacionamento do método que não considera o balanço hídrico entre o volume de captação do cenário e sua demanda.

### Método Prático Inglês

Os volumes de cisternas resultantes da utilização do método de dimensionamento de reservatórios Prático Inglês e os respectivos níveis de garantia de abastecimento podem ser observados na Tabela 6.

O método Prático Inglês não considera a demanda de água, mas sim parte da quantidade máxima de dias em que o reservatório deveria acumular a água. Dessa forma, os volumes de reservatórios obtidos aumentaram para superfícies de captação maiores, uma vez que

**Tabela 4 - Volumes dos reservatórios e suas garantias de abastecimento para os cenários obtidos a partir do método de dimensionamento Azevedo Neto.**

Demanda (m <sup>3</sup> )	Área=100 m <sup>2</sup>		Área=200 m <sup>2</sup>		Área=300 m <sup>2</sup>		Área=400 m <sup>2</sup>		Área=500 m <sup>2</sup>	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Garantia (%)								
4,0	13,1	98,7	26,1	100,0	39,2	100,0	52,3	100,0	65,4	100,0
8,0	13,1	80,4	26,1	98,7	39,2	100,0	52,3	100,0	65,4	100,0
12,0	13,1	65,3	26,1	90,7	39,2	98,7	52,3	100,0	65,4	100,0
16,0	13,1	53,7	26,1	80,4	39,2	94,4	52,3	98,7	65,4	99,9
20,0	13,1	43,9	26,1	72,1	39,2	87,1	52,3	95,8	65,4	98,7
24,0	13,1	35,6	26,1	65,3	39,2	80,4	52,3	90,7	65,4	96,5
28,0	13,1	29,5	26,1	59,3	39,2	74,5	52,3	85,3	65,4	93,1
32,0	13,1	24,2	26,1	53,7	39,2	69,6	52,3	80,4	65,4	88,5
36,0	13,1	20,4	26,1	48,6	39,2	65,3	52,3	76,0	65,4	84,4
40,0	13,1	17,4	26,1	43,9	39,2	61,0	52,3	72,1	65,4	80,4

esta é a única variável considerada pelo método, além do índice pluviométrico mensal.

Esse método, assim como o Azevedo Neto e o Prático Alemão, não considera o balanço hídrico dentro do reservatório para calcular o seu volume, mas o número máximo de dias para que a água fique armazenada. Com isso, o volume varia somente com a alteração do regime de chuvas da região e da área da superfície de captação. Nesses casos, para um mesmo cenário de coleta de água pluvial, o aumento da demanda acarreta a diminuição dos níveis de garantia de abastecimento da cisterna.

### Método Prático Australiano

Os volumes de reservatórios gerados com o método de dimensionamento de reservatórios Prático Australiano podem ser observados na Tabela 7, assim como suas garantias de abastecimento.

Na Tabela 7, alguns cenários de captação possuem um traço em vez de volumes de reservatórios. Nesses casos, não foi possível

calcular a capacidade do reservatório porque o cenário não atendia ao critério de dimensionamento que estabelece que o volume do reservatório deve ser maior que a somatória da demanda de água. Para algumas demandas, os volumes de reservatórios obtidos foram iguais a zero, pois o método considera que o volume de água necessário para suprir as demandas está igualmente distribuído ao longo do mês e, por isso, não precisa ser regularizado. O método, tal como descrito, utiliza médias pluviométricas mensais plurianuais, o que reduz a precisão dos resultados.

Os níveis de garantia, conforme mostrado na Tabela 7, aumentaram com o aumento da demanda de água e da área da superfície de captação. Esse método determina que a garantia do sistema deve estar entre 90 e 99%. Através da análise desses resultados, foi possível perceber que a simulação diária para analisar esses resultados permitiria que sistemas de captação sem reservatório de armazenamento tivessem de 28,4 até 31,5% de garantia de abastecimento.

**Tabela 5 - Volumes dos reservatórios através do método Prático Alemão nos cenários analisados e suas garantias de abastecimento.**

Demanda (m <sup>3</sup> )	Área=100 m <sup>2</sup>		Área=200 m <sup>2</sup>		Área=300 m <sup>2</sup>		Área=400 m <sup>2</sup>		Área=500 m <sup>2</sup>	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Garantia (%)								
4,0	2,9	82,0	2,9	87,3	2,9	88,5	2,9	89,2	2,9	89,9
8,0	5,8	71,4	5,8	82,0	5,8	86,1	5,8	87,3	5,8	88,0
12,0	8,6	61,7	8,6	76,7	8,6	81,9	8,6	85,1	8,6	86,6
16,0	9,3	51,2	11,5	71,4	11,5	78,5	11,5	82,0	11,5	84,5
20,0	9,3	42,3	14,4	66,6	14,4	74,8	14,4	79,5	14,4	82,0
24,0	9,3	34,8	17,3	61,7	17,3	71,4	17,3	76,7	17,3	79,9
28,0	9,3	28,9	18,7	56,3	20,2	68,1	20,2	74,0	20,2	77,7
32,0	9,3	23,9	18,7	51,2	23,0	64,8	23,0	71,4	23,0	75,5
36,0	9,3	20,1	18,7	46,6	25,9	61,8	25,9	68,9	25,9	73,5
40,0	9,3	17,3	18,7	42,3	28,0	58,1	28,8	66,6	28,8	71,4

**Tabela 6 - Volumes dos reservatórios com o método de dimensionamento Prático Inglês e suas garantias de abastecimento.**

Demanda (m <sup>3</sup> )	Área=100 m <sup>2</sup>		Área=200 m <sup>2</sup>		Área=300 m <sup>2</sup>		Área=400 m <sup>2</sup>		Área=500 m <sup>2</sup>	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Garantia (%)								
4,0	7,8	93,6	15,6	100,0	23,3	100,0	38,9	100,0	38,9	100,0
8,0	7,8	74,2	15,6	93,6	23,3	98,9	38,9	100,0	38,9	100,0
12,0	7,8	60,7	15,6	83,2	23,3	93,6	38,9	98,0	38,9	99,6
16,0	7,8	49,8	15,6	74,2	23,3	86,4	38,9	93,6	38,9	97,3
20,0	7,8	41,2	15,6	67,2	23,3	80,0	38,9	88,2	38,9	93,6
24,0	7,8	34,0	15,6	60,7	23,3	74,2	38,9	83,2	38,9	89,3
28,0	7,8	28,5	15,6	54,9	23,3	69,3	38,9	78,5	38,9	85,1
32,0	7,8	23,6	15,6	49,8	23,3	64,9	38,9	74,2	38,9	81,2
36,0	7,8	19,9	15,6	45,3	23,3	60,8	38,9	70,5	38,9	77,7
40,0	7,8	17,1	15,6	41,2	23,3	56,7	38,9	67,2	38,9	74,2

**Tabela 7 - Volumes dos reservatórios resultantes da aplicação do método de dimensionamento Prático Australiano e seus respectivos níveis de garantia de abastecimento.**

Demanda (m <sup>3</sup> )	Área=100 m <sup>2</sup>		Área=200 m <sup>2</sup>		Área=300 m <sup>2</sup>		Área=400 m <sup>2</sup>		Área=500 m <sup>2</sup>	
	Volume (m <sup>3</sup> )	Garantia (%)								
4,0	2,4	80,4	0,0	28,4	0,0	29,6	0,0	30,1	0,0	30,5
8,0	19,8	87,6	4,9	80,4	2,7	76,1	0,0	28,4	0,0	29,3
12,0	-	-	14,3	82,1	7,3	80,3	4,9	69,5	3,1	80,1
16,0	-	-	39,6	87,6	15,4	81,4	9,8	80,4	7,1	79,0
20,0	-	-	-	-	41,1	87,9	17,8	81,6	12,2	80,4
24,0	-	-	-	-	59,5	87,6	28,5	82,1	20,2	81,7
28,0	-	-	-	-	-	-	60,1	87,8	29,6	81,8
32,0	-	-	-	-	-	-	79,3	87,6	63,1	88,0
36,0	-	-	-	-	-	-	99,3	87,2	79,1	87,7
40,0	-	-	-	-	-	-	-	-	110,6	89,9

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível notar uma grande variação dos volumes de reservatórios calculados com os métodos propostos pela NBR 15527/07. Esses volumes também variam em função dos cenários de captação, considerando o aumento da superfície de captação e do consumo de água pluvial. Com base na simulação diária e nos níveis de garantia de abastecimento resultantes, foi possível avaliar o desempenho das cisternas dimensionadas com os métodos analisados.

Os métodos que não consideram o balanço entre o volume de água captada e a demanda para abastecimento, como o Prático Inglês, o Azevedo Neto e o Prático Alemão, resultaram em garantias de abastecimento menores, na medida em que o consumo de água aumentou. A aplicação do método Azevedo Neto dependeu do estabelecimento de uma metodologia a fim de encontrar a quantidade de meses com pouca chuva ou seca, um dos parâmetros exigidos para o dimensionamento.

Os outros métodos de dimensionamento sugeridos pela norma brasileira, que consideram o balanço hídrico, produziram níveis de garantia de abastecimento mais elevados. Entre esses, o método com as menores garantias foi o Prático Australiano, que utiliza como dados de entrada os índices pluviométricos médios mensais plurianuais, tornando seus resultados menos precisos.

Os métodos que resultaram nos maiores níveis de garantia foram o Rippl Mensal (acima de 98,4%) e o Rippl Diário (100%). Esse resultado era esperado uma vez que esses métodos são baseados no balanço hídrico mensal ou no diário a fim de retornar o volume que supra integralmente a demanda de água. As elevadas garantias de abastecimento

resultantes da aplicação do método Rippl Diário também são decorrentes da incorporação da variação pluviométrica intramês.

Por outro lado, quando se comparam as diferenças entre os volumes encontrados por esses dois métodos, nota-se que os volumes obtidos podem apresentar, para as mesmas condições de contorno, discrepâncias significativas. No geral, o Rippl Diário tende a produzir volumes muito maiores para áreas de captação maiores e demandas menores. Porém, há casos em que ocorre o contrário, ou seja, este produz reservatórios menores que os correspondentes ao Rippl Mensal. Uma possível causa para esse comportamento é a magnitude dos déficits gerados pelos volumes calculados pelo Rippl Mensal e testados a partir da Simulação Diária. Dessa forma, não é possível, *a priori*, estabelecer um critério único de desempenho baseado apenas na garantia máxima de abastecimento. O resultado volumétrico deve ser avaliado para se decidir qual volume de cisterna adotar para o dimensionamento do reservatório de águas pluviais.

É importante ressaltar que o método de Rippl não foi utilizado conforme sua descrição na NBR 15527/07, uma vez que sua definição na norma está incompleta e sua aplicação gera volumes de armazenamento incorretos. Por fim, a água pluvial deve ser utilizada de forma que reduza o consumo de água de outras fontes e não como a criação de outra fonte de abastecimento segura (MIERZWA *et al.*, 2007). Assim, reservatórios com menores capacidades podem ser selecionados para o aproveitamento de água pluvial, mesmo que possuam níveis de garantias de abastecimento mais baixos, pela viabilidade econômica e espacial de sua construção. Garantias menores podem ser assumidas na medida em que se utilizem reservatórios de menor capacidade que geram custos de investimento menores.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, S.V.; PEREIRA, D.J.A. (2008) 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.
- ANGRILL, S.; FARRENY, R.; GASOL, C.M.; GABARREL, X.; VIÑOLAS, B.; JOSA, A.; RIERADEVALL, J. (2012) Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate. *The International Journal of Life Cycle Assess*, v. 17, p. 25-42.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (2007) *NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas urbanas para fins não potáveis - Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT. 12 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A QUALIDADE DE INSTALAÇÕES PREDIAIS (ANQUIP). (2009) *ETA 0710: sistemas de aproveitamento de águas pluviais em edifícios (SAAP)*. Coimbra: Associação Nacional para a Qualidade de Instalações Prediais. v. 4. 24 p.
- BEZERRA, S.M.C.; CHRISTAN, P.; TEIXEIRA, C.A.; FARAHBAKHS, K. (2010) Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação dos métodos da ABNT NBR 15527: 2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. *Ambiente Construído*, v. 10, n. 4, p. 219-231. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212010000400015>
- BRITISH STANDARDS. (2009) *BS 8515: Rainwater harvesting systems - Code of practice*. Londres: British Standards. 52 p.
- CAMPISANO, A.; MODICA, C. (2012) Optimal sizing of storage tanks for domestic Rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 63, p. 9-16. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.03.007>
- DORNELLES, F.; GOLDENFUM, A.; TASSI, R. (2012) Metodologia para ajuste do fator esgoto/água para aproveitamento de água de chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 111-121. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v17n1.p111-121>
- DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J.A. (2010) Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, n. 2, p. 59-68. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v15n2.p59-68>
- FENDRICH, R. (2002) *Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana*. 547 f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- FONTANELA, L.; MENDES, J.P.; BACK, A.J.; VARGAS, A. (2012) Avaliação de metodologias para o dimensionamento de reservatórios de água pluvial. *Hydro*, São Paulo, p. 50-58.
- LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. (2010) Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, v. 260, p. 1-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.05.035>
- McMACHON, T.A. (1993) Hydrology design for water for water use. In: MAIDMENT, D.R. (Org.) *Handbook of hydrology*. Austin: McGraw-Hill. p. 990-1039.
- MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I.; SILVA, M.C.C.; RODRIGUES, L.B. (2007) Águas pluviais: métodos de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. *Rega*, v. 4, n. 1, p. 29-37.
- MITCHELL, V.G.; MCCARTHY, D.T.; DELETIC, A.; FLETCHER, T.D. (2008) Urban stormwater harvesting - sensitivity of a storage behavior model. *Environmental Modelling & Software*, v. 23, p. 782-793. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.09.006>
- MORUZZI, R.B.; OLIVEIRA, S.C. (2010) Aplicação de programa computacional no dimensionamento de volume de reservatório para sistema de aproveitamento de água pluvial da cidade de ponta grossa, PR. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 2, n. 1.
- RUPP, R.F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. (2011) Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. *Ambiente Construído*, v. 11, n. 4, p. 47-64.
- SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO (SIGRH). *Base de dados*. Disponível em <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 30 jun. 2012.
- TOMAZ, P. (2003) *Aproveitamento de água de chuva*. São Paulo: Navegar. 179 p.
- WARD, S.; MEMON, F.A.; BUTLER, D. (2012) Performance of a large building rainwater harvesting system. *Water Research*, v. 46, n. 16, p. 5127-5134. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.043>