

DIMENSIONAMENTO E VERIFICAÇÃO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DA CHUVA PARA DEMANDA NÃO POTÁVEL

Luiz Antonio Farani de Souza^{1} & Guilherme Davi Mumbach²*

Resumo – Para o adequado funcionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva em residências unifamiliares, determinar a capacidade de reserva é fundamental e, para tal, deve ser dimensionada com base na avaliação do nível de atendimento à demanda. No entanto, ao considerar que o reservatório deve permanecer cheio a maior parte do tempo para atender à demanda no período de estiagem, as dimensões do reservatório tornam-se demasiadamente exageradas e o investimento proibitivo à maioria da população. Este artigo objetiva aplicar e comparar métodos de dimensionamento de reservatório encontrados na literatura em um estudo de caso. A verificação do desempenho do sistema é efetuada através dos parâmetros de projeto: volume de suprimento de água de outra fonte, *overflow*, percentual mensal de demanda atendida com água da chuva, confiança e eficiência. Os métodos de dimensionamento analisados foram o de Rippl e os métodos práticos - Azevedo Neto, alemão e australiano. As equações dos métodos alemão e australiano foram reescritas considerando o volume de descarte de primeira chuva.

Palavras-Chave – Aproveitamento de água pluvial. Volume do reservatório. Eficiência.

SIZING AND VERIFICATION OF THE VOLUME OF RAINWATER CISTERN TO DEMAND NOT POTABLE

Abstract – For accurate functioning of the rainwater harvesting system in household, it is essential to determine the reservoir capacity; therefore, it must be dimensioned based on the assessment of the level of demand and efficiency. However, the cistern dimensions became very large and high cost when considering that the cistern must remain full most of the time in order to supply the demands during dry season. This paper aims to apply and compare reservoir sizing methods found in the literature on a case study. The verification of system performance is made through the design parameters: volume of water supply from another source, overflow, monthly percentage of demand met with rainwater, reliability and efficiently. The following sizing methods were analyzed: Rippl and practical methods - Azevedo Neto, German and Australian. The equations of German and Australian methods were rewritten considering the volume of discarded first rain.

Keywords – Rainwater harvesting system. Cistern volume. Efficiently.

INTRODUÇÃO

O reservatório é um item imprescindível no sistema de aproveitamento de água pluvial e suas dimensões devem ser obtidas em função da área disponível para implantação, e seu volume deve atender às necessidades para as quais foram consideradas sem permanecer ocioso nem extravasar grande quantidade de água. Evidentemente, a definição do consumo depende do atendimento requerido e de sua frequência, podendo em alguns casos prever fonte alternativa (Moruzzi e Oliveira, 2010).

¹ Professor da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Cerro Largo, Engenharia Ambiental, e-mail: luiz.souza@uffs.edu.br.

² Aluno de Iniciação Científica, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Cerro Largo, Engenharia Ambiental.

Esta pesquisa foi concentrada em métodos de dimensionamento do reservatório, devido ao fato de ser esse um dos itens mais críticos para a implantação do sistema. Segundo Tomaz (2005), o item reservatório é, na grande maioria dos casos, o mais caro do sistema.

O objetivo deste artigo é aplicar e comparar métodos de dimensionamento de reservatório encontrados na literatura em um estudo de caso. A comparação e a verificação de desempenho do sistema são efetuadas através dos seguintes parâmetros de projeto: volume de suprimento de água de outra fonte de alimentação, *overflow*, percentual mensal de demanda atendida com água da chuva, confiança e eficiência. Os métodos de dimensionamento analisados foram o método de Rippl e os métodos práticos Azevedo Neto, alemão e australiano. As equações dos métodos alemão e australiano foram reescritas considerando o volume de descarte de primeira chuva.

Simulações foram efetuadas a partir de dados pluviométricos do Município de São Luiz Gonzaga – RS, variando-se a área de captação, a demanda e o volume de descarte da primeira chuva. Os modelos foram implementados computacionalmente através do programa gratuito Scilab - versão 5.4. Os resultados obtidos foram compilados através de gráficos gerados com o programa Excel 2007.

METODOLOGIA

Determinação do volume passível de aproveitamento

Para o dimensionamento do reservatório de aproveitamento de água pluvial, foram utilizados os dados de precipitação do Município de São Luiz Gonzaga – RS referentes ao ano 2012, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (Figura 1).

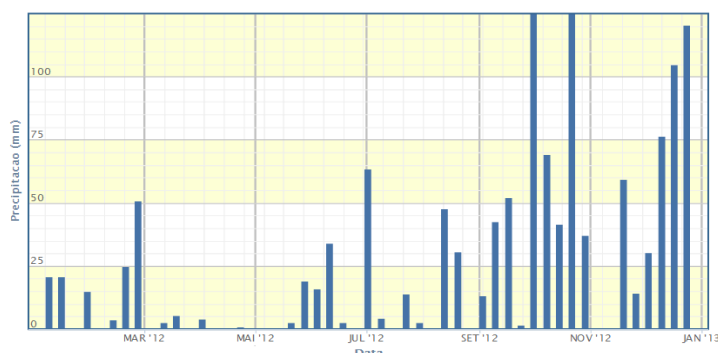


Figura 1 – Índices pluviométricos diários do Município de São Luiz Gonzaga – RS (INMET).

Segundo Moruzzi *et al.* (2008), para projetos de sistemas de aproveitamento de água pluvial, recomenda-se utilizar um histórico de dados de pelo menos dez anos. Contudo, tendo em vista que o objetivo deste artigo é aplicar e comparar métodos de dimensionamento, a adoção dos dados pluviométricos do ano de 2012 reflete o erro referente à representatividade estatística, igualmente para os métodos investigados.

O volume total de precipitação mensal (V_p), dado em m^3 , é determinado por (Tomaz, 2005):

$$V_p = \frac{C A P_m}{1000} \quad (1)$$

Em que C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional), P_m a precipitação média mensal (mm) e A a área de captação (m^2). Com relação ao volume de descarte da primeira chuva, foram investigados dois valores correspondentes à precipitação de descarte (P_{desc}) – 0 e 2 mm. O volume correspondente ao descarte (V_{desc}), dado em m^3 , é calculado por:

$$V_{desc} = \frac{A P_{desc} d}{1000} \quad (2)$$

Em que P_{desc} é a precipitação de descarte da primeira chuva (mm) e d o número de dias com precipitação no mês correspondente. O volume passível de aproveitamento é dado por (Moruzzi *et al.*, 2008):

$$V_{aprov} = V_p - V_{desc} \quad (3)$$

Determinação da demanda de água não potável

A demanda de água não potável foi calculada considerando apenas o consumo de água em vaso sanitário de residência unifamiliar. No cálculo, adotou-se um volume de seis litros por descarga e frequência de cinco descargas por habitante, conforme proposto por Tomaz (2000). A Tabela 1 mostra a demanda diária e mensal para 4 e 5 habitantes.

Tabela 1 – Demandas mensal e diária em função do número de habitantes em residência unifamiliar.

Número de habitantes	Demanda diária (m ³)	Demanda mensal D_m (m ³)
4	0,12	3,60
5	0,15	4,50

Modelos de dimensionamento do volume do reservatório

a) Método prático Azevedo Neto

Trata-se de um método empírico apresentado na NBR 15527/2007. O volume de água do reservatório V , expresso em L, é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 P_{ma} A T \quad (4)$$

Em que P_{ma} é a precipitação média anual (mm), A a área de coleta em projeção (m²) e T o número de meses de pouca chuva ou seca.

b) Método prático alemão adaptado

É um método empírico apresentado na NBR 15527/2007, segundo o qual se toma o menor entre os seguintes valores para o volume do reservatório: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

$$V = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,06 V_a \\ 0,06 D_a \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,06 V_{aprova} \\ 0,72 D_m \end{array} \right. \quad (5)$$

Em que V_a é volume anual de precipitação aproveitável (L), D_a a demanda anual de água não potável (L) e V_{aprova} o volume aproveitável anual (L) dado pela seguinte equação:

$$V_{aprova} = C A P_a - A P_{desc} d_a \quad (6)$$

Onde d_a é o número de dias com precipitação no ano e P_a a precipitação anual.

c) Método prático australiano adaptado

É um método empírico citado na NBR 15527/2007 e o volume produzido pela chuva Q (m³) no mês t é dado por:

$$Q_t = V_{aprov} \quad (7)$$

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas através da seguinte equação:

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (8)$$

Em que V_t é o volume de água que está no tanque no fim do mês t (m³), V_{t-1} o volume de água que está no tanque no início do mês t (m³) e D_t a demanda mensal (m³). Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio. Quando $V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t < 0$, então $V_t = 0$.

Neste trabalho, adotou-se que o volume do tanque escolhido V será, em metros cúbicos, quando a média dos valores obtidos da divisão do volume captado pelo reservatório no mês t (levando-se em conta o volume de reservação no início do mês t e o volume coletado pelo sistema com ou sem descarte da primeira chuva no mês t) pela demanda mensal constante, vezes 100, for maior ou igual a 80% (Anecchini, 2005).

d) Método de Rippl

O Método de Rippl é um método de cálculo do volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período mais crítico de estiagem observado. Esse método baseia-se no diagrama de massa do sistema que corresponde à integral de um hidrograma, sendo um diagrama de volumes acumulados que afluem ao reservatório, podendo ser apresentado pelas seguintes equações (Ngigi, 1999):

$$S_t = \sum (D_t - V_{\text{aprov}}) \quad (9)$$

$$V = \sum S_t, \text{ somente para valores } S_t > 0 \quad (10)$$

Onde S_t é o volume de água no reservatório no tempo t (m^3), V é o volume do reservatório e D_t a demanda ou consumo no tempo t (m^3). Nesse método, o volume de água que escoar pela superfície de captação é subtraído da demanda de água pluvial em um mesmo intervalo de tempo.

Verificação do volume do reservatório

Para a verificação do volume do reservatório foram considerados os seguintes parâmetros:

a) Overflow

Esse parâmetro se refere ao volume de extravasamento de água da chuva do reservatório (May, 2004).

b) Suprimento de água de outra fonte de alimentação

É o volume de água que pode vir do abastecimento público, de caminhão-tanque ou de outra procedência, caso o volume de chuva no reservatório não tenha atendido à demanda (May, 2004).

c) Percentual mensal de demanda atendida com água da chuva (DA)

Esse percentual corresponde à divisão do volume captado pelo reservatório dividido pela demanda mensal constante no mês correspondente, vezes 100. O valor de DA pertence ao intervalo fechado $[0, 100\%]$, sendo que para $DA = 0$ a demanda não é atendida, e para $DA = 100\%$ a demanda é totalmente atendida.

d) Confiança

Para o cálculo da confiança, utilizam-se as seguintes equações:

$$\text{Confiança}(\%) = 100 (1 - P_r) \quad (11)$$

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (12)$$

Onde P_r é a falha; N_r o número de meses em que o reservatório não atendeu ao percentual mensal de demanda com água de chuva (DA); e N o número de meses considerado, geralmente 12 meses. Neste trabalho, considerou-se que o reservatório atendeu à demanda quando $DA \geq 90\%$.

e) Eficiência

A eficiência indica a fração da demanda nominal por água não potável que é atendida pelo sistema de aproveitamento de água de chuva. O valor de eficiência varia entre 0 e 1 (totalmente ineficiente e totalmente eficiente, respectivamente) e é calculado por (Dornelles *et al.*, 2012):

$$e = \frac{\sum C_{AC}}{\sum C_{TNP}} \quad (13)$$

Sendo C_{AC} o consumo de água não potável atendido pelo sistema de água de chuva; C_{TNP} o consumo total de água não potável atendido, ou seja, o que é atendido pelo sistema de água de chuva mais o que é complementado com água tratada fornecida através da rede de abastecimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho do reservatório de água pluvial foi avaliado através de simulações com os métodos descritos pela NBR 15527 - Azevedo Neto, alemão, australiano e de Rippl. A formulação dos métodos alemão e australiano foi reescrita neste trabalho. As análises foram realizadas a partir de dados mensais de precipitação do Município de São Luiz Gonzaga – RS referentes ao ano 2012, com a determinação das seguintes variáveis: volume de reservação, volume de suprimento, volume extravasado (*overflow*), percentual mensal de demanda atendida com água da chuva, confiança e eficiência do sistema. Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros utilizados para cada método.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados nos modelos de dimensionamento.

Método Azevedo Neto	Método alemão adaptado	Método australiano adaptado	Método de Rippl
$P_a = 1359 \text{ mm}$ $A = 100 \text{ e } 150 \text{ m}^2$ $T = 1 \text{ mês}$	$P_a = 1359 \text{ mm}$ $A = 100 \text{ e } 150 \text{ m}^2$ $C = 0,8$ $D_a = 43200 \text{ L } (D_m = 3,6\text{m}^3)$ $D_a = 54000 \text{ L } (D_m = 4,5\text{m}^3)$ $d_a = 36 \text{ dias}$	$A = 100 \text{ e } 150 \text{ m}^2$ $C = 0,8$ $D_m = 3,6 \text{ e } 4,5 \text{ m}^3$	$A = 100 \text{ e } 150 \text{ m}^2$ $C = 0,8$ $D_m = 3,6 \text{ e } 4,5 \text{ m}^3$

Nas Figuras 2 e 3 são comparados os volumes de reservação, de suprimento anual e volume extravasado (*overflow*) obtidos das simulações efetuadas com os métodos, referentes às demandas 3,6 m³/mês e 4,5 m³/mês, respectivamente.

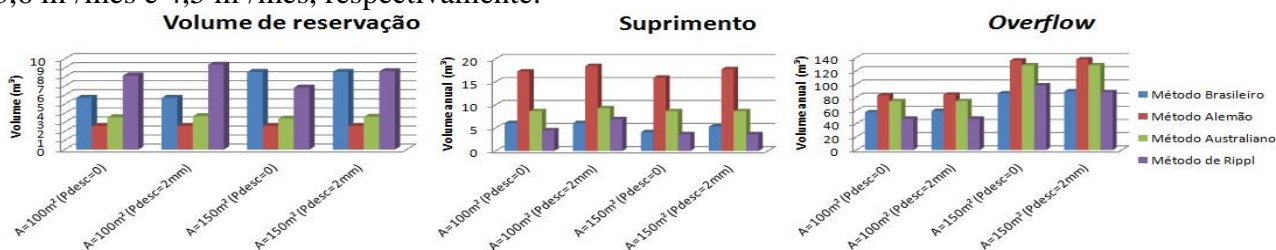


Figura 2 – Comparação entre os volumes de reservação, suprimento anual e *overflow* anual, referentes à demanda 3,6 m³/mês, obtidos nas simulações com os métodos.

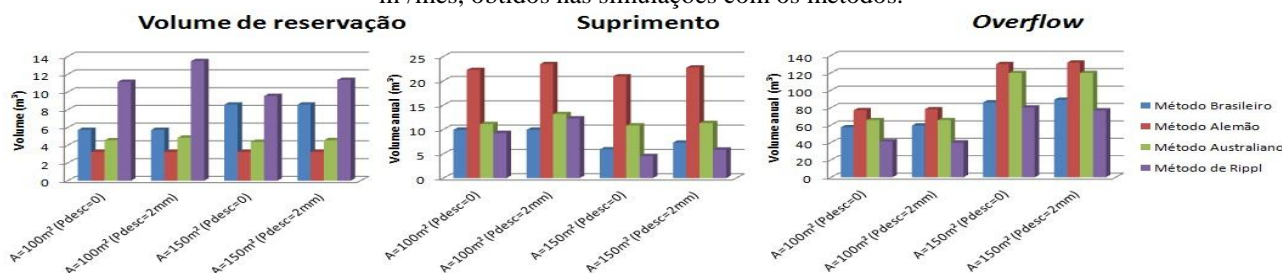


Figura 3 – Comparação entre os volumes de reservação, suprimento de água anual e *overflow* anual, referentes à demanda 4,5 m³/mês, obtidos nas simulações com os métodos.

Os volumes de reservação obtidos pelos métodos analisados mostraram grande variabilidade entre si. O método de Rippl apresentou valores superiores aos demais na maioria dos casos, pelo fato de que esse método faz uma verificação do período crítico do sistema, e retorna como resultado de volume de reservação o somatório do volume de desabastecimento correspondente a esse período, sem analisar se o sistema é capaz de captar chuva para encher o volume de reservação proposto.

O método prático alemão adaptado foi o que resultou nos menores volumes, sendo os valores iguais a $2,59\text{m}^3$ e $3,24\text{m}^3$ para as demandas de $3,6\text{m}^3$ e $4,5\text{m}^3$, respectivamente. Não houve variação desses volumes com a variação da área de captação e do volume descarte, porque esse método utiliza a demanda anual de água não potável ou o volume anual captado para estimar o volume de reservação, sendo o primeiro o que prevaleceu em todos os casos ($0,06 D_a$).

Na aplicação dos métodos australiano adaptado e de Rippl vale ressaltar que, durante o desenvolvimento deste trabalho, notou-se que para uma mesma demanda a área de captação tem uma relação inversamente proporcional ao volume final obtido para o reservatório, ou seja, quanto maior a área de captação, menor será o volume final do reservatório obtido. Isso ocorre porque com o aumento da área de captação aumenta-se o volume de água captado, o qual suprirá por um maior período a demanda.

Para as simulações efetuadas com os métodos australiano adaptado e de Rippl, observou-se que houve um aumento do volume à proporção que aumenta o volume de descarte da primeira chuva. Esse incremento se deve à diminuição do volume de água pluvial que entra no sistema, uma vez que a demanda ao longo do ano permanece constante. Para os métodos Azevedo Neto e alemão adaptado a variação do volume de descarte não alterou o volume de reservação nos casos analisados, pois os volumes do reservatório preditos por esses modelos representam uma parcela do volume total de chuva captado no ano, independentemente de como este se distribui ao longo do tempo.

Com o aumento da demanda de água não potável, verificou-se que o volume de reservação aumentou para as análises com os métodos australiano adaptado, alemão adaptado e de Rippl. No cálculo da demanda, contudo, podem ser considerados outros consumos de água, tanto interno (máquina de lavar roupa) quanto externo (lavagem de carro e rega de gramado ou jardim) (Tomaz, 2000). Assim, mensurá-la de forma precisa é fundamental para garantir a economia do sistema, visto que a demanda influencia diretamente no volume do reservatório.

Vê-se que, mesmo aumentando-se o volume de reservação, há necessidade de suprimento de água de outra fonte para anteder totalmente às demandas requeridas. Os métodos Azevedo Neto e de Rippl apresentaram menor volume de suprimento anual, ao passo que o método alemão adaptado mostrou maior. Com relação ao volume de extravasamento de água de chuva (*overflow*), o método de Rippl exibiu menor volume de extravasamento anual em quase todos os casos analisados.

Nas Figuras 4 e 5 são confrontados os percentuais mensais de demanda atendida com água pluvial e o suprimento de água necessário para atender à demanda mensal constante, referentes às demandas $3,6\text{m}^3/\text{mês}$ e $4,5\text{m}^3/\text{mês}$, respectivamente. Fazendo a análise dos resultados, observa-se que a demanda de água não potável é atendida parcialmente no período de estiagem para as áreas de captação propostas independentemente da capacidade do reservatório predito. Para que a demanda seja atendida totalmente nesse período, há necessidade de acrescentar volume de água proveniente de outra fonte (suprimento). Também, vê-se que o volume de descarte da primeira chuva e a área de captação influenciam no percentual de demanda atendida mensal e, conseqüentemente, no suprimento.

Na Tabela 3 são exibidos os valores determinados para a confiança e eficiência do sistema referente às análises com a demanda de $4,5\text{m}^3/\text{mês}$ para todos os métodos. De acordo com os valores obtidos da confiança, vê-se que em todos os casos analisados houve falha total ou parcial do sistema. A falha indica que houve meses em que a demanda atendida DA ficou abaixo de 90%. Para os métodos Azevedo Neto, australiano adaptado e de Rippl, a confiança do sistema diminuiu na época de estiagem em que o volume mínimo do reservatório calculado não foi suficiente para atender à demanda DA acima de 90%; já para o método alemão adaptado, o volume de reservação ficou abaixo desse percentual em todos os meses, independentemente da área de captação adotada.

Tabela 3 – Valores da confiança e eficiência do sistema referentes à demanda 4,5 m³/mês.

Parâmetro	Confiança				Eficiência			
	Azevedo Neto	Alemão adaptado	Australiano adaptado	Rippl	Azevedo Neto	Alemão Adpatado	Australiano adaptado	Rippl
A=100m ² (Pdesc = 0)	75,00	0,00	75,00	75,00	0,82	0,59	0,79	0,83
A=100m ² (Pdesc = 2mm)	58,33	0,00	58,33	58,33	0,77	0,57	0,76	0,77
A=150m ² (Pdesc = 0)	83,33	0,00	75,00	83,33	0,89	0,61	0,80	0,92
A=150m ² (Pdesc = 2mm)	83,33	0,00	75,00	83,33	0,87	0,58	0,79	0,89

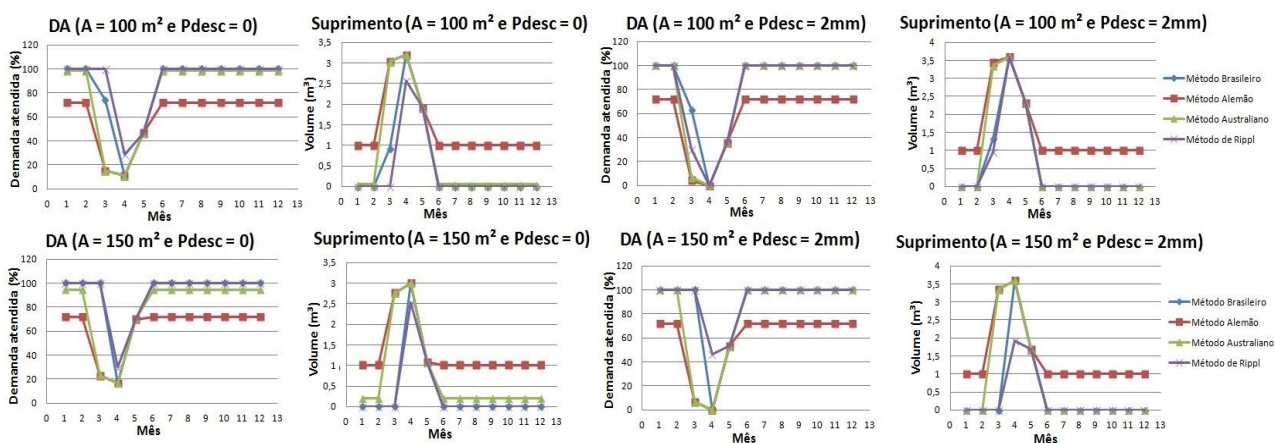


Figura 4 – Comparação entre os percentuais mensais de demanda atendida com água da chuva e suprimento de água de outra fonte de alimentação, referentes à demanda 3,6 m³/mês.

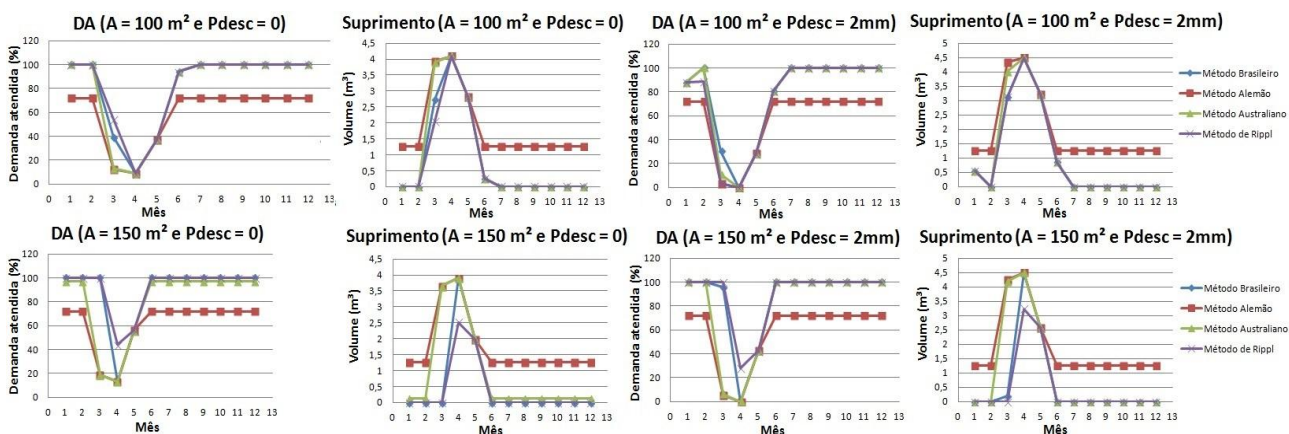


Figura 5 – Comparação entre os percentuais mensais de demanda atendida com água da chuva e suprimento de água de outra fonte de alimentação, referentes à demanda 4,5 m³/mês.

Com relação à eficiência, o método de Rippl mostrou-se mais eficiente se comparados aos demais métodos. Os valores da eficiência para o método Azevedo Neto ficaram próximos ao de Rippl em todos os casos analisados, com a vantagem de propor volumes menores de reservação. Observa-se, também, que os valores da eficiência do sistema (bem como da confiança) têm relação com a área de captação e o volume de descarte da primeira chuva, sendo que o aumento da área e a

diminuição do volume de descarte tendem a aumentar os valores desse parâmetro. Dessa forma, a adoção da quantidade de volume da primeira chuva a ser descartado deve ser avaliada cuidadosamente na fase de projeto, podendo implicar no aumento de dias (ou meses) em que o reservatório fica ocioso diminuindo, conseqüentemente, a eficiência do sistema.

CONCLUSÃO

Embora haja grandes dispersões entre os valores obtidos para o reservatório de armazenamento de água pluvial para os métodos analisados neste artigo, a escolha do mais adequado deve ocorrer de acordo com as particularidades de cada caso no que tange à existência de fontes alternativas, tipo de consumo (parcial, intermitente ou total), características pluviométricas, entre outras.

A fim de evitar o comportamento deficitário do sistema de aproveitamento de chuva, o projetista deve avaliar o desempenho do reservatório através da verificação da necessidade de suprimento de água de outra fonte no período de estiagem, da ocorrência de *overflow* no sistema, do percentual mensal de demanda atendida com água da chuva, da confiança e da eficiência. Esses índices de avaliação se constituem em importantes dados de projetos na adoção do volume mínimo de reserva para atender á demanda de água requerida para fins não potáveis.

Também, destaca-se a utilização de um programa computacional que contemple mais de um método de cálculo, auxiliando o projetista na tomada de decisão, uma vez que cada método carrega suas hipóteses e limites de aplicação.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15527: água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos*. São Paulo, 2007.
- ANNECCHINI, K. P. V. (2005). *Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.
- DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J. A.; TASSI, R. (2012). Metodologia para Ajuste do Fator de Esgoto/Água para Aproveitamento de Água de Chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 1, pp. 111-121.
- MAY, S. (2004). *Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C.; CARVALHO, G. S. (2008). Volume do reservatório de aproveitamento de água pluvial baseado no conceito do balanço de vazões para uma residência unifamiliar. *Publ. UEPG Exact Earth Sci., Agr. Sci. Eng.*, Ponta Grossa, 14 (3), pp. 217-227.
- 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, pp. 36 – 48.
- NGIGI, S. N. (1999). Optimization of rainwater catchment systems design parameters in the arid and semiarid lands of Kenya. In: *Anais da Conferência Internacional Sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva*, 9, Petrolina.
- TOMAZ, P. (2000). *Previsão de consumo de água*. Navegar Editora, São Paulo.
- TOMAZ, P. (2005). *Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis*. Navegar Editora, São Paulo.