

Procedimentos para o dimensionamento de reservatório de água pluvial para residências unifamiliares: viabilidade e aprimoramento metodológico

Balance flow concept applied to cistern volume calculation for household rainwater harvesting systems: viability and methodological improvement

Rodrigo Braga Moruzzi, engenheiro civil (UFSCar), mestre e doutor em Eng. Civil na área de Hidráulica e Saneamento (EESC/USP), professor assistente doutor do curso de Eng. Ambiental da Universidade Estadual Paulista (UNESP - Campus de Rio Claro), Caixa Postal 178; 13.500-230; Rio Claro, SP, Tel. 19 35269339, E-mail: rmoruzzi@rc.unesp.br

Gabriela Dos Santos Carvalho, engenheira ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP – Campus de Rio Claro)

Samuel Conceição De Oliveira, engenheiro químico (UFSCar), mestre (UFSCar) e doutor em Eng. Química (POLI/USP), professor assistente doutor do curso de Eng. Ambiental da Universidade Estadual Paulista (UNESP - Campus de Rio Claro), Caixa Postal 178; 13.506-900; Rio Claro, SP, Tel. 19 35262833, E-mail: scoliv@rc.unesp.br

RESUMO

Este trabalho apresenta procedimentos que visam auxiliar projetistas na determinação do volume do reservatório de sistemas de aproveitamento de água pluvial. Para tal, foi estudado o Método do Máximo Aproveitamento (MMA) para sistema de aproveitamento em residências unifamiliares, visando atendimento da demanda exercida em bacia sanitária de residências com 3, 4 e 5 habitantes para áreas de captação em telhado de 80, 120 e 200m² e descartes da primeira chuva de 0, 1, 2, 4mm. Ao MMA foi inserida uma variável para avaliação do comportamento dinâmico do volume/nível e os resultados foram comparados com aqueles obtidos usando-se o Método da Análise da Simulação (MAS). Verificou-se que o MMA pôde ser aplicado e que a proposta de aprimoramento permitiu determinar o volume do reservatório, a partir do potencial de economia desejado, bem como analisar o comportamento dinâmico do volume/nível, constituindo uma ferramenta compacta para auxílio aos projetistas.

Palavras-chave: aproveitamento de água pluvial, volume do reservatório, residência unifamiliar, Método do Máximo Aproveitamento.

ABSTRACT

This paper focus to apply, to discuss and to propose the Maximum Harvesting Method improvement, regarding the method application, for household rainwater harvesting systems. For this purpose, the rainwater was considered to supply the flush toilet demand in a household for 3, 4, and 5 inhabitants. The 80, 120 and 200m² catchments areas and the 0, 1, 2 and 4mm first flushes discharges were also considered. Further, the improvement suggestions for cistern volume calculus and volume/level dynamics variation in a period were presented and the results were compared applying the Simulation Analyses Method. The results indicate that the Maximum Harvesting Method could be applied and that the improvement proposal can be used to determinate the cistern volume as well to analyze the dynamic behavior of volume/level, constituting by itself a single tool to assist rainwater harvesting systems designers.

Key-words: rainwater harvesting, cistern volume, household, maximum harvesting method.

1 INTRODUÇÃO

A água pluvial tem se configurado como uma fonte alternativa de água, promissora para suprimento de usos não potáveis principalmente em regiões metropolitanas e do semi-árido.

O aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas é assunto de recentes discussões e permeia o tema: Planejamento de Recursos Hídricos. O reservatório é um item imprescindível do sistema de aproveitamento de água pluvial e seu dimensionamento depende das características da captação, dos índices pluviométricos locais e das demandas exercidas [3].

Existem diversos métodos de dimensionamento de reservatório que resultam em distintos volumes. A escolha do método mais adequado é de fundamental importância para a viabilidade técnico-econômica de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial, uma vez que o reservatório é um item essencial do sistema. Na seleção do método mais apropriado de dimensionamento diversos fatores devem ser considerados incluindo a demanda a ser atendida, a área de captação, entre outros. Ademais, o tempo de amortização do investimento e a eficiência do sistema constituem variáveis fundamentais para a tomada de decisão quanto a viabilidade de implantação do sistema, conforme análise apresentada por Moruzzi em [6].

No dimensionamento dos reservatórios busca-se determinar a capacidade volumétrica que atenda ao máximo possível à demanda exercida com um menor custo de implantação. Entretanto, dependendo do método de dimensionamento utilizado, pode-se chegar a valores proibitivos da capacidade do reservatório quer seja por razões físicas ou econômicas.

Atualmente, a maioria dos projetos de reservatórios de água pluvial com a finalidade de aproveitamento em fins não potáveis tem sido conduzida na base de critérios puramente empíricos. A predominância de tais critérios sobre critérios racionais é decorrência da variedade e complexidade dos métodos de dimensionamento encontrados na literatura, o que muitas vezes dificulta a utilização dos mesmos. Sendo assim, o estudo minucioso de tais métodos torna-se uma etapa necessária para facilitar a aplicação deles [3].

A aplicação do conceito do balanço de vazões para dimensionamento de reservatório de água pluvial em residências unifamiliares para fins não potáveis pode viabilizar a implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas com menores custos e maior potencial de aproveitamento, contribuindo para o projeto e implantação de edificações sustentáveis. Adicionalmente, o aprimoramento na determinação do volume de armazenamento bem como a análise da variação do nível do reservatório ao longo do tempo pode subsidiar a obtenção de parâmetros seguros para projeto de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Mierzwa em [5] apresenta um método de cálculo denominado Método do Máximo Aproveitamento (MMA) baseado no conceito de balanço de vazões. Nesse método, parte-se do pressuposto que o aproveitamento ocorrerá somente quando o volume de água pluvial for maior ou igual à demanda a ser atendida. Segundo os autores, o conceito envolvido nesse método é o oposto dos métodos tradicionais, tais como o Método de Rippl cujo princípio é a regularização da vazão, implicando em um total atendimento da demanda ao longo do período. Sendo assim, um reservatório dimensionado por meio do MMA apresentará um determinado potencial de economia, ou seja, uma porcentagem de atendimento da demanda.

Outro método que pode ser utilizado para dimensionar reservatórios e possui similaridade com o MMA é o Método da Análise da Simulação (MAS). Tal método é de fato constituído por um balanço de massa e encontra-se descrito por Tomaz em [8]. Assim como o MMA, o MAS apresenta uma confiança do sistema que equivale ao potencial de economia, não havendo regularização da vazão.

Ressalta-se que a NBR 15527 “Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos” [2] apresenta em seus anexos alguns métodos de dimensionamento baseados no princípio da equalização de vazão (Método de Rippl, por exemplo), assim como alguns métodos empíricos (método prático brasileiro e alemão, por exemplo) e também o MAS.

Este trabalho tem como objetivo principal apresentar uma rotina para aplicação e aprimoramento do MMA e compará-la com o

Método da Análise da Simulação (MAS) para determinar o volume de reservação de água pluvial visando atender à demanda exercida em bacia sanitária de residências unifamiliares.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Parte da metodologia descrita neste artigo foi apresentada em [3], entretanto julgou-se conveniente rerepresentar alguns dos procedimentos adotados visando um melhor entendimento da proposta delineada neste artigo. Vale mencionar que a apresentação do método é o foco da proposta apresentada neste artigo e que as variáveis de entrada tais como: dados pluviométricos; descarte da primeira chuva; área do reservatório, etc devem ser analisados separadamente quando do projeto de sistemas de aproveitamento.

Para o dimensionamento do reservatório, foram utilizados os dados pluviométricos da cidade de Rio Claro (SP) coletados na estação meteorológica da UNESP, Campus Bela Vista (CEAPLA) no ano de 2003, os quais foram obtidos por meio do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH), apresentados na Figura 1.

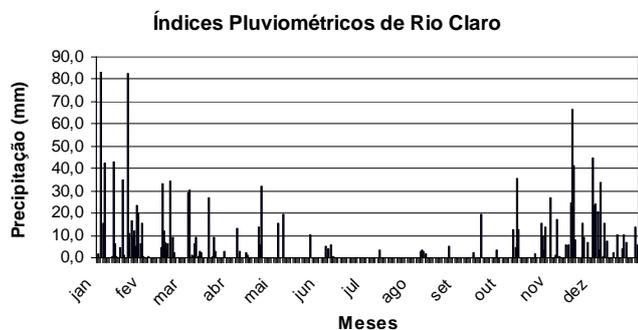


Figura 1 Índices pluviométricos diários do município de Rio Claro coletados na estação meteorológica da UNESP, Campus Bela Vista (CEAPLA) no ano de 2003. Fonte: Carvalho et. al [3].

É importante elucidar que em projetos de sistemas de aproveitamento uma análise histórica de dados pluviométricos deve ser realizada.

No subsistema de captação podem ser utilizados telhados ou pavimentos como superfície de captação, sendo que a água captada através de telhados geralmente apresenta qualidade superior. Neste estudo optou-se pela investigação de telhados cobertos com telhas cerâmicas com áreas de projeção horizontal de 80, 120 e 200m², as

quais são representativas de residências de médio padrão.

O coeficiente de escoamento adotado nas investigações foi de 0,8, valor que corresponde ao coeficiente apresentado por Tucci em [9] e Tomaz em [8] para telhas cerâmicas. A partir desses dados, obteve-se o volume de precipitação utilizando-se a Equação 1 [8]:

$$V_p = (C.A.P)/1000 \quad (1)$$

em que:

V_p = volume de precipitação diária (m³); C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional) cujo valor adotado neste estudo foi de 0,8; P = precipitação diária (mm); A = área de captação (m²).

Com relação ao volume de descarte da primeira chuva, foram investigados quatro valores correspondentes às precipitações de descarte de 0, 1, 2 e 4mm. Para calcular esse volume correspondente ao descarte, utilizou-se a Equação 2:

$$V_d = (P_{desc}.A)/1000 \quad (2)$$

em que:

V_d = volume de descarte da primeira chuva (m³); P_{desc} = precipitação de descarte da primeira chuva (mm); A = área de captação (m²).

O volume passível de aproveitamento corresponde ao volume total precipitado menos o volume de descarte.

As demandas a serem atendidas (usos pretendidos) referem-se ao volume de água diário consumido nas bacias sanitárias de residências unifamiliares com 3, 4 e 5 habitantes. Foram consideradas 5 descargas por habitante por dia e um volume de descarga de 6L, conforme proposto por Anecchini em [1], obtendo-se a demanda para cada condição. A Tabela 1 sintetiza todas as condições investigadas para o MMA. No caso do MAS, foram investigados os volumes de reservatório para 80m² de área de captação, 2mm de descarte da primeira chuva e demanda de 4 habitantes.

Tabela 1 Condições investigadas para o MMA [3]

Nº. de habitantes	Demanda diária (m ³)*	Área de captação (m ²)	Descarte da primeira chuva (mm)
3	0,09	80, 120 e 200	0, 1, 2 e 4
4	0,12	80, 120 e 200	0, 1, 2 e 4
5	0,15	80, 120 e 200	0, 1, 2 e 4
*considerando:		5descargas/hab.dia	e
		6L/descarga.	

2.1 Método do máximo aproveitamento (MMA)

O Método do Máximo Aproveitamento pressupõe o aproveitamento da água pluvial para os dias em que o volume armazenado é maior ou igual à demanda exercida, conforme a Equação (3) apresentada em [5].

$$dV/dt = V_p.C - D, \text{ para } dV/dt_{(\text{diário})} \geq 0 \quad (3)$$

em que:

dV/dt = taxa de variação do volume no reservatório; V_p = volume de precipitação considerando o descarte da primeira chuva; C = coeficiente de escoamento (0,8); D = demanda de água exercida.

Os cálculos foram realizados utilizando-se uma rotina elaborada em linguagem de programação *FORTRAN*, a qual foi escolhida por ser uma linguagem bastante apropriada a cálculos de engenharia e por ser extensivamente usada pela comunidade acadêmica. Os dados de entrada do programa foram:

- Precipitação diária (P): variável (mm);
- Coeficiente de escoamento (C): 0,8;
- Volume correspondente ao descarte da primeira chuva (Vd): 0, 1, 2 e 4 mm;
- Área de captação (A): 80, 120 e 200m²;
- Demanda diária (D): 0,09; 0,12; e 0,15m³;
- Volume adotado para o reservatório (Vt): 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 10; 12,5; e 15m³.

Os dados de saída do programa foram os seguintes:

- Volume precipitado acumulado (VpAC) = Somatória do volume precipitado acumulado para cada área de captação, já considerando o descarte da primeira chuva;
- Volume aproveitável acumulado (VapAC) = Somatória do volume aproveitado durante o ano correspondente ao valor da demanda para os dias nos quais $dV/dt_{(\text{diário})} \geq 0$;
- Dias de déficit (J) = Número de dias em que a demanda exercida não foi atendida, ou seja, quando o volume armazenado é menor que a demanda.

Os resultados das simulações realizadas com o programa computacional foram organizados em planilhas eletrônicas, elaborando-se gráficos cujas linhas de tendência foram ajustadas por funções logarítmicas. Adicionalmente, foram calculados os potenciais de economia proporcionados pelo

sistema de aproveitamento de água pluvial, ou seja, a relação entre o volume total aproveitável (VapAC) no ano e a demanda anual a ser atendida para cada condição investigada. Como condição inicial, considerou-se o reservatório vazio no tempo $t=0$.

2.1.1 Procedimentos para aplicação do MMA

Conforme mencionado, a proposta de aprimoramento consistiu em: i) apresentar uma nova maneira de determinar o volume do reservatório em função do potencial de economia desejado e da demanda exercida e; ii) analisar o comportamento dinâmico do nível e do volume de água no reservatório por meio da inclusão de novas variáveis. Assim, além das variáveis de saída listadas anteriormente (item 2.1), também foram incluídas as seguintes variáveis de resposta: o volume coletado, o volume armazenado e o volume residual, as quais são definidas a seguir:

- Volume coletado (Vcol) = Volume coletado diariamente considerando-se a capacidade máxima do reservatório;
- Volume armazenado (Varm) = Somatória do volume residual com o volume precipitado, sendo que quando essa somatória exceder a capacidade do reservatório, o volume armazenado será igual a essa capacidade;
- Volume residual (Vres) = Volume de água que resta no reservatório após descontar do volume armazenado a demanda.

Na proposta da determinação gráfica do volume do reservatório considerou-se o potencial de economia para cada demanda a ser atendida. Com esses valores obteve-se o volume aproveitável que, rebatido na curva obtida por meio do MMA, resultou na capacidade do reservatório.

O comportamento dinâmico do volume de água no reservatório foi verificado por meio da análise temporal da variável denominada “volume armazenado”. O nível de água no reservatório foi obtido a partir da razão entre o “volume armazenado” e a área média da base do reservatório de acordo com os valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Condições investigadas para o MMA

Volume do Reservatório (m ³)	Diâmetro Médio Adotado (m)	Área da base (m ²)
2	1,7	2,3
5	2,0	3,1
10	2,5	4,9
15	2,6	5,3

Os valores da variável “volume armazenado” investigados para os casos apresentados na Tabela 2, foram obtidos para uma área de captação de 80m², descarte da primeira chuva de 2mm e demanda correspondente a 4 habitantes (0,12m³/dia).

2.1.2 Algoritmo Proposto

O Quadro 1 apresenta o algoritmo proposto para o cálculo fundamentado no conceito do máximo aproveitamento. Todas as variáveis foram definidas nos itens anteriores.

Quadro 1 Algoritmo proposto para aplicação do MMA

```

Leia Vt, C, A, D, Vd, V0, N
J=0
Vres=V0
VpAC=0
VapAC=0
VcolAC=0
De I=1, N faça:
Vp=C*A*P(I)/1000- Vd
Se Vp<0, então: Vp=0
Varm=Vres+Vp
Se Varm>Vt
Então:
    Varm=Vt
    Vcol=Varm-Vres
Senão: Vcol=Vp
Fim do condicional
Se Varm ≥ D
Então:
    Vap=D
    Vres=Varm-D
Senão:
    Vap=0
J=J+1
Vres=Varm
Fim do condicional
VpAC=VpAC+Vp
VapAC=VapAC+Vap

```

continua

Continuação do Quadro 1

VcolAC=VcolAC+Vcol

Imprima Vap, Vcol, Varm, Vres

Próximo I

Imprima VpAC, VapAC, VcolAC, J

Fim

em que: N=365 (dias)

2.2 Método da Análise da Simulação (MAS)

O MAS foi aplicado visando comparar o comportamento dinâmico do volume/nível obtido pela análise temporal da variável “volume armazenado” quando o MMA foi utilizado.

Para calcular o volume utilizando-se o MAS arbitrou-se um volume inicial em função das condições investigadas para o MMA e verificou-se o comportamento do volume de água no reservatório conforme preconizado por [8]. Essa verificação pode ser realizada por meio de uma análise gráfica, permitindo uma melhor visualização do comportamento do volume de água no reservatório ao longo do ano. Foram investigados quatro dos volumes obtidos pelo MMA (2, 5, 10 e 15m³), para uma área de captação de 80m² (pois, de acordo com dados da Eletrobrás citados em [4] cerca de 85% das habitações possuem áreas inferiores a 100m²), descarte da primeira chuva de 2mm (pois este valor é recomendado pela NBR15527/07 quando não se dispõe de dados) e demanda de 0,12m³/dia (correspondente a 4 habitantes, de acordo com IBGE citado por [4] para o mesmo período).

Para calcular o volume de água no reservatório durante todos os dias do ano, desconsiderando as possíveis perdas por evaporação e outras, tais como vazamentos, utilizou-se a Equação 4 adaptada de [8]:

$$R_{(t)} = Vp_{(t)} + R_{(t-1)} - D_{(t)}, \text{ para } 0 \leq R_{(t)} \leq V \quad (4)$$

em que:

$R_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t (m³); $Vp_{(t)}$ = volume precipitado no tempo t (m³); $R_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo $t-1$ (m³); $D_{(t)}$ = demanda no tempo t (m³); V = volume do reservatório fixado.

Como no MMA, obteve-se o nível de água no reservatório a partir do volume e da área média da base do mesmo e considerou-se que o reservatório estava vazio no dia 31/12/2002.

Foram calculados também os dias de déficit do sistema, ou seja, os dias em que o reservatório ficou vazio. Adicionalmente, calculou-se a confiança do sistema admitindo-se como falha a relação entre o período em que o reservatório esteve vazio e o período total contabilizado (365 dias).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da simulação para diferentes condições investigadas com o Método do Máximo Aproveitamento (MMA), foram sintetizados na Figura 2, 3 e 4. Os ajustes das curvas logarítmicas mostradas na Figura 2, 3 e 4 resultaram em valores de R^2 (coeficiente de determinação) superiores a 0,98, indicando uma boa adequação dessas curvas aos dados. Cabe mencionar que o volume aproveitável não é o valor correspondente ao volume do reservatório e sim, o volume passível de aproveitamento para um determinado volume de reservatório, em função do balanço de vazões.

Verifica-se que, independentemente da demanda e da área de captação, quanto maior o volume de descarte da primeira chuva, menor o volume aproveitável no ano, pois a oferta diminuiu. Fixando-se, por exemplo, um volume de reservatório em 3m^3 , a demanda em $0,15\text{m}^3/\text{dia}$ e a área em 80m^2 , o volume aproveitável com 0mm de descarte foi de aproximadamente 38m^3 e para um descarte de 4mm esse volume passou a ser 32m^3 .

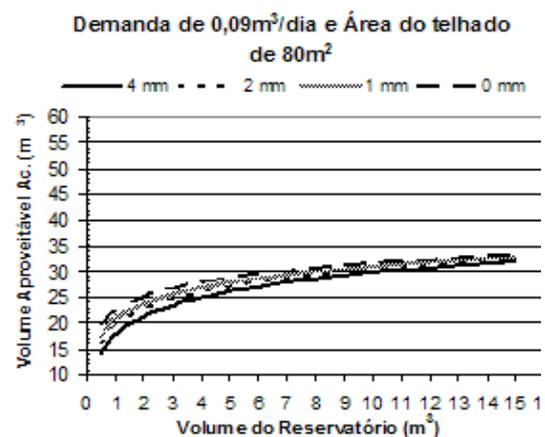
Para todas as demandas investigadas e todos os valores de descarte da primeira chuva, o aumento da área de captação produz um incremento no volume aproveitável no ano. Por exemplo, para um reservatório de 2m^3 , descarte de 0mm e demanda de $0,12\text{m}^3/\text{dia}$, o volume aproveitável foi de aproximadamente 31m^3 para uma área de 80m^2 e de 36m^3 para uma área de 200m^2 . Isso já era esperado, pois quanto maior a área de captação (A) maior é a vazão ($Q=cIA$).

Além disso, verifica-se que o acréscimo da demanda resulta em um aumento do volume aproveitável no ano, pois se a demanda é maior, maior também é o volume de chuva que pode ser aproveitado para atendê-la. Observa-se que, independentemente da área de captação e do descarte da primeira chuva, para demanda de $0,09\text{m}^3/\text{dia}$, o máximo volume aproveitável resulta entre 30 e 35m^3 ; para a demanda de $0,12\text{m}^3/\text{dia}$, esse volume resulta entre 35 e 45m^3 ; e quando a

demanda é de $0,15\text{m}^3/\text{dia}$, esse valor fica compreendido entre 45 e 55m^3 .

Em todos os resultados obtidos verificou-se que o aumento dos volumes propostos para os reservatórios resulta em um acréscimo no volume aproveitável no ano, sendo que, a partir de um determinado volume de reservatório, o volume aproveitável tende a alcançar um valor máximo, pois não há incremento da demanda. Sendo assim, a capacidade do reservatório pode ser adotada considerando o valor cujo incremento não traz aumento significativo do volume aproveitável.

Entretanto, como parte da proposta de aprimoramento, sugere-se outra maneira de determinar o volume do reservatório. Partindo-se do potencial de economia desejado, ou seja, a porcentagem de atendimento da demanda, pode-se determinar o volume aproveitável. De posse desse valor e utilizando o gráfico obtido pelo MMA pode-se determinar o volume do reservatório para cada valor de descarte da primeira chuva, demanda e área de captação (telhado). A Figura 5 apresenta um exemplo de determinação do volume utilizando esse procedimento. Pode-se observar, na Figura 5, que para um potencial de economia de 70%, descarte de 4mm, área de 80m^2 e demanda de $0,12\text{m}^3/\text{dia}$, ou seja, $30,7\text{m}^3/\text{ano}$ ($0,12\text{m}^3/\text{dia} \times 365\text{dias} \times 0,7$), o volume do reservatório foi de aproximadamente 5m^3 .



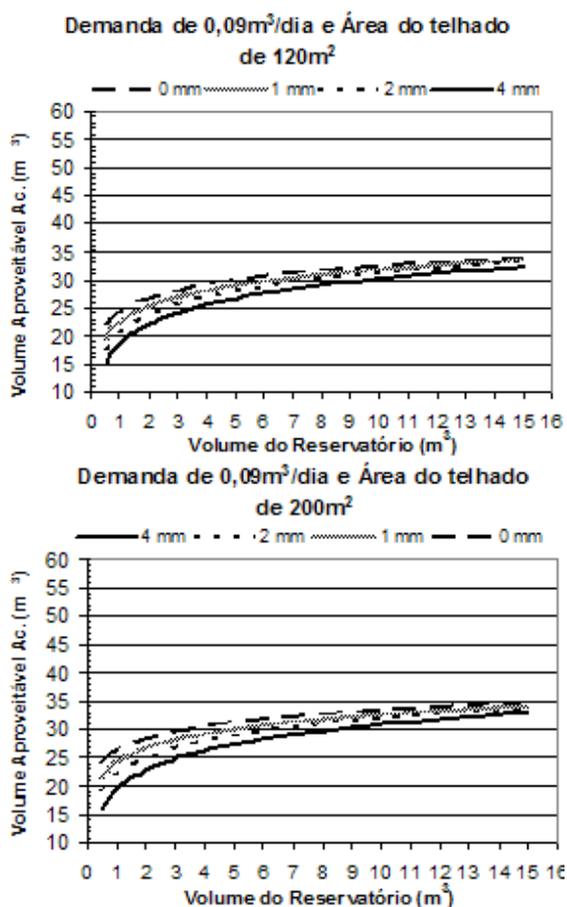


Figura 2 Volume aproveitável no ano em função do volume do reservatório, do descarte da primeira chuva e da área de captação, para demanda de $0,09\text{m}^3/\text{dia}$. Fonte: Carvalho et. al [3].

Com relação à proposta de análise da variação temporal do nível e do volume de água, as Figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam os resultados das simulações visando avaliar o comportamento da variável “volume armazenado” e do nível de água correspondente em função do tempo. Merece destaque o fato de que os resultados referentes à simulação utilizando o MAS foram inseridos nos mesmos gráficos com a finalidade de comparar o comportamento obtido.

Conforme apresentado anteriormente, definido o potencial de economia desejado obtém-se o valor de reservatório correspondente pelo método gráfico proposto.

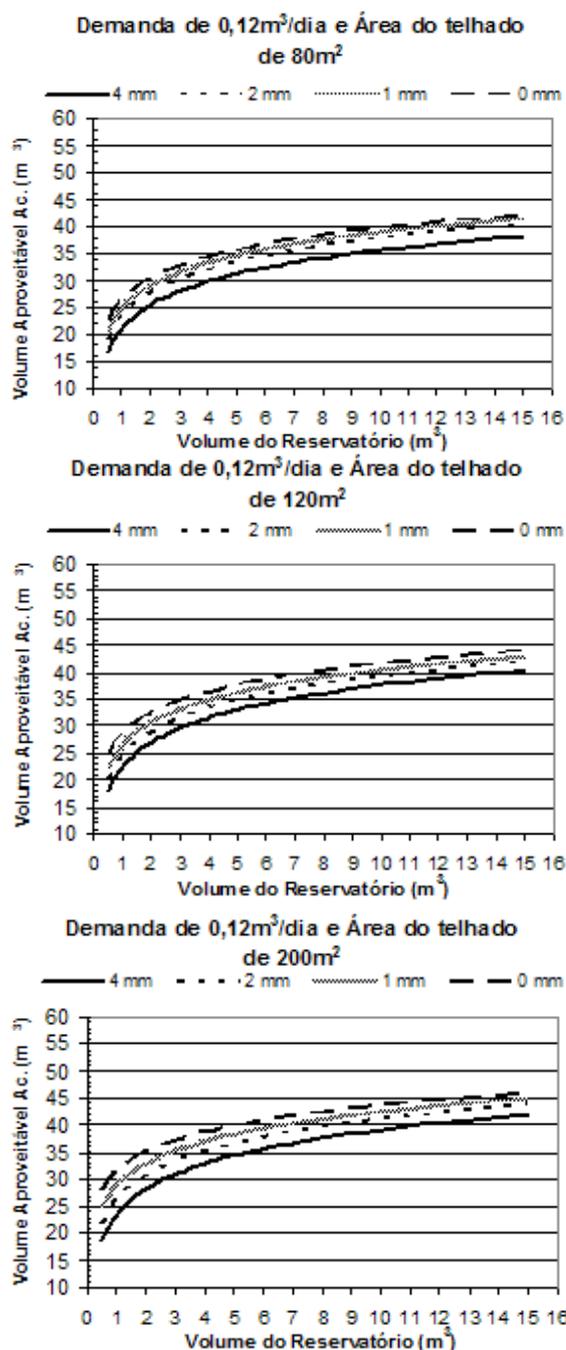


Figura 3 Volume aproveitável no ano em função do volume do reservatório, do descarte da primeira chuva e da área de captação, para demanda de $0,12\text{m}^3/\text{dia}$. Fonte: Carvalho et. al [3].

Para o reservatório com capacidade de 2m^3 (Figura 6), calculado para o potencial de economia de aproximadamente 65%, verificou-se uma grande similaridade entre as análises realizadas com os dois métodos empregados (MMA e MAS), fato claramente observado pela coincidência entre as curvas obtidas. A análise do comportamento dinâmico do volume/nível permitiu verificar que não foi possível utilizar a água pluvial para aproveitamento no período de junho a setembro, além de alguns dias em abril e outubro. No

entanto, existiram períodos em que houve extravasamento de água como, por exemplo, no início e no fim do ano.

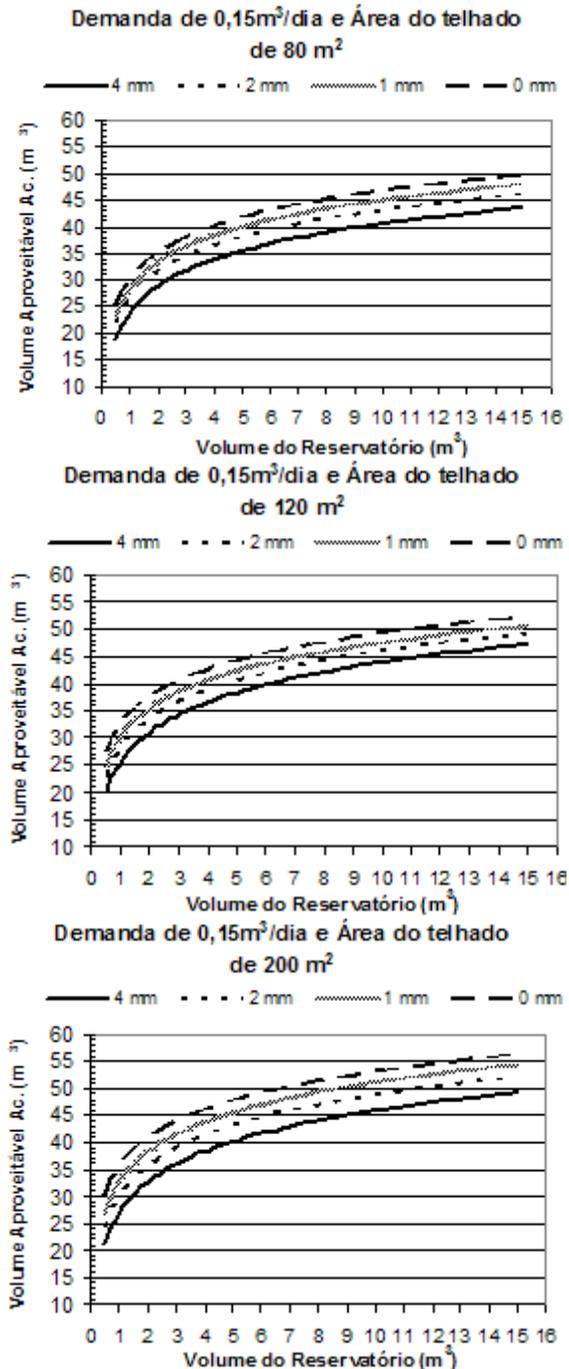


Figura 4 Volume aproveitável no ano em função do volume do reservatório, do descarte da primeira chuva e da área de captação, para demanda de $0,09\text{m}^3/\text{dia}$, $0,15\text{m}^3/\text{dia}$. Fonte: Carvalho et. al [3].

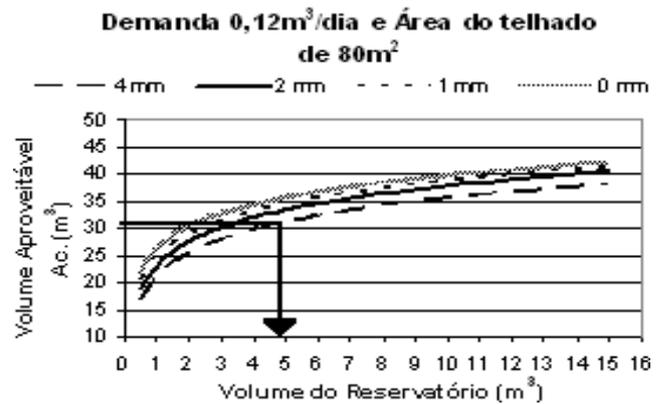


Figura 5 Exemplo da proposta de determinação gráfica do volume do reservatório fixados o potencial de economia e a demanda

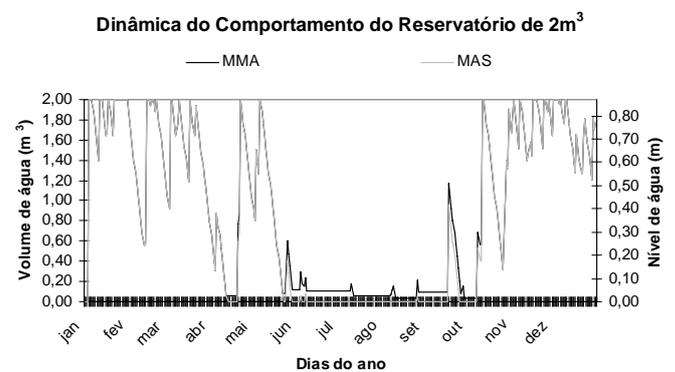


Figura 6 Volume e nível de água no reservatório de 2m^3 , calculado para o potencial de economia em torno de 65%, durante o ano de 2003 considerando uma área de captação de 80m^2 , descarte de primeira chuva de 2mm e demanda de $0,12\text{m}^3/\text{dia}$, utilizando o MMA e o MAS.

Adicionalmente, verificou-se que o aumento da capacidade do reservatório (aumento do potencial de economia mantendo-se fixas as demais variáveis) ocasionou em diminuição dos dias em que não houve aproveitamento de água pluvial, pois a quantidade de água armazenada nos períodos chuvosos aumentou (Figura 7).



Figura 7 Volume e nível de água no reservatório de 5m^3 , calculado para o potencial de economia em torno de 75%, durante o ano de 2003 considerando um área de captação de 80m^2 , descarte de primeira chuva de 2mm e demanda de $0,12\text{m}^3/\text{dia}$, utilizando o MMA e o MAS.

O período no qual não ocorre o aproveitamento passou de 4 para 3 meses com o aumento da capacidade do reservatório de 2 para 5m^3 (potencial de economia de aproximadamente 85%). Além disso, os dias de déficit que ocorreram no mês de abril para o reservatório de 2m^3 não ocorreram mais no reservatório de 5m^3 . Entretanto, o extravasamento também foi observado para o reservatório de 5m^3 . Novamente, observou-se a similaridade do comportamento dinâmico empregando-se o MAS e o MMA incorporando a proposta de aprimoramento metodológico.

Para o reservatório de 10m^3 (Figura 8), calculado para potencial de economia de aproximadamente 85% mantendo-se fixas as demais variáveis, os dias de déficit ocorreram em apenas dois meses (agosto e setembro) e alguns dias do mês de outubro. Verificou-se que o reservatório com capacidade de 15m^3 (Figura 9), correspondente ao potencial de economia de 95%, apresentou dias de déficit apenas no começo de outubro.

Finalmente, considerando todas as simulações realizadas visando avaliar o comportamento dinâmico do volume/nível de diferentes volumes de reservatório (correspondentes a diferentes potenciais de economia), verificou-se que a partir do mês de maio o nível de água começou a declinar, pois a ocorrência de chuva diminuiu. Ao contrário, observou-se que o nível de água armazenada nos reservatórios voltou a subir quando os eventos de chuva voltaram a ocorrer.



Figura 8 Volume e nível de água no reservatório de 10m^3 , calculado para o potencial de economia em torno de 85%, durante o ano de 2003 considerando um área de captação de 80m^2 , descarte de primeira chuva de 2mm e demanda de $0,12\text{m}^3/\text{dia}$, utilizando o MMA e o MAS.



Figura 9 Volume e nível de água no reservatório de 15m^3 , calculado para o potencial de economia em torno de 95%, durante o ano de 2003 considerando um área de captação de 80m^2 , descarte de primeira chuva de 2mm e demanda de $0,12\text{m}^3/\text{dia}$, utilizando o MMA e o MAS.

Em termos gerais observa-se nas Figuras de 6 a 9, que curvas referentes a cada método apresentaram praticamente o mesmo comportamento, sendo que em determinados períodos elas se sobrepuseram. Conforme mencionado, no MAS o aproveitamento da água pluvial pode ocorrer até mesmo quando o volume armazenado é menor que a demanda exercida, ao contrário do MMA, no qual esse aproveitamento só ocorre quando o volume armazenado for igual ou maior que a demanda. Portanto, o reservatório dimensionado pelo MMA tem menos possibilidade de ficar vazio, estando o volume mínimo compreendido, na maior parte do tempo, entre zero e o valor da demanda.

Nesse contexto, observa-se que quanto maior o volume do reservatório, menor o número de dias

em que não há aproveitamento de água pluvial ao longo do ano, fator responsável pelas discrepâncias entre as curvas, fazendo com que os trechos nos quais as curvas se sobrepõem sejam mais extensos.

Salienta-se que o custo do investimento não foi considerado e que o aumento do potencial de economia (aumento do volume do reservatório) implicaria necessariamente em maiores tempos de amortização do investimento. Assim, cabe ao projetista definir, para cada caso, a situação correspondente ao maior benefício/custo.

Com relação ao número de dias de déficit e o potencial de economia/confiança, a Tabela 3 apresenta os valores para os dois métodos estudados, em função do volume do reservatório. Verifica-se que os valores (referentes ao Potencial de Economia e a Confiança) obtidos pelos dois métodos são muito próximos, sendo que o quociente entre os dias de déficit calculados pelos dois métodos variou de 0,93 a 1,04. Embora conceitualmente diferentes, o potencial de economia e a confiança traduzem em termos percentuais o período em que a água pluvial esteve disponível para atendimento do uso pretendido. Assim, a disponibilidade da água pluvial para diferentes volumes de reservatório e seu comportamento dinâmico puderam ser avaliadas com a aplicação de um único algoritmo de cálculo. Evidentemente, a confirmação dos resultados somente será obtida pela avaliação experimental, entretanto a proposta de aprimoramento na definição do volume do reservatório e na análise do comportamento dinâmico do volume/nível apresenta-se como uma ferramenta compacta para auxiliar o projetista na tomada de decisão.

Assim, a utilização do MMA para dimensionamento do volume do reservatório em sistema de aproveitamento de água pluvial, considerando a proposta de aprimoramento metodológico sugerida, referente à aplicação do método, permitiu tanto a determinação do volume do reservatório (para um potencial de economia desejado) quanto à avaliação do comportamento dinâmico do nível/volume do reservatório, possibilitando maior segurança no projeto de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Evidentemente, a confirmação da precisão do método somente poderá ser avaliada por meio de levantamentos de campo em unidades piloto.

Tabela 3 Comparação entre os dias de déficit e confiança dos dois métodos (MMA e MAS), considerando área de captação de 80m², descarte da primeira chuva de 2mm e demanda de 0,12m³/dia

Volume do reservatório (m ³)	MMA		MAS		Razões de déficit
	Dias de déficit	Potencial de economia	Dias de déficit	Confiança	
2	129	65%	133	64%	1,03
5	97	73%	99	73%	1,02
10	55	85%	57	84%	1,03
15	14	96%	13	96%	0,93

4 CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentados procedimentos baseados em critérios racionais que visam auxiliar projetistas de sistemas de aproveitamento de água pluvial no que tange à determinação do volume adequado do reservatório. Para tal, foi verificada a viabilidade da aplicação do conceito de Balanço de Vazões para dimensionamento do reservatório de água pluvial para residências unifamiliares. Adicionalmente, foi analisada uma proposta de aprimoramento na aplicação do Método do Máximo Aproveitamento (MMA). A proposta de aprimoramento consistiu em orientar o projetista visando: i) determinar o volume do reservatório em função do potencial de economia desejado para cada demanda e; ii) utilizar uma nova variável para acompanhar o comportamento dinâmico do volume/nível de água no reservatório durante um período determinado.

Os resultados apresentados permitiram verificar que o MMA tem potencial para ser aplicado na determinação do volume de reservação de água pluvial necessário para atender a demanda exercida em bacias sanitárias com caixa acoplada de residências unifamiliares.

Verificou-se que a definição do volume de reservação pode ser auxiliada por meio de método gráfico a partir da definição antecipada do potencial de economia desejado, para cada volume de descarte da primeira chuva, demanda exercida e área de captação.

A adequação da proposta no que se refere à análise do comportamento dinâmico do volume/nível de água foi avaliada comparando-se os resultados obtidos pelo MMA com os obtidos pelo Método da Análise da Simulação (MAS). Os resultados revelaram que o comportamento dinâmico descrito por ambos os métodos são

semelhantes exceto naqueles dias em que o volume armazenado é menor que a demanda, situação na qual os métodos divergem devido ao conceito envolvido em cada um deles. Assim, o MMA utilizando a proposta de aprimoramento metodológico sugerida pode ser empregado tanto na determinação do volume do reservatório quanto na análise do comportamento dinâmico do volume/nível, constituindo-se em uma ferramenta compacta que pode auxiliar o projetista na definição do volume mais apropriado para reservação de água pluvial em sistemas de aproveitamento.

5 REFERÊNCIAS

- [1] ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da Água de Chuva Para Fins Não Potáveis na Região Metropolitana de Vitória (ES)**. 2005. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 15527**. Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. 8p. 2007.
- [3] CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C.; MORUZZI, R. B. Cálculo do volume do reservatório de sistemas de aproveitamento de água de chuva. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10., 2007, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, ANTAC, 2007.
- [4] GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, **41** p.1544–1550, Elsevier, 2006.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em maio de 2007.
- [5] MIERZWA, J. C; HESPANHOL, I.; SILVA, M. C. C da; RODRIGUES, L. D. B. Águas Pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 4, p. 29-37, 2007.
- [6] MORUZZI, R.B.; OLIVEIRA, S.C.; GARCIA, M.L. An integrated analysis for reservoir volume calculation in rainwater harvesting system. *Proceedings of the Sustainable Building 2010 Brazil Conference*, 2010, São Paulo. p. 116-123.
- [7] SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SIGRH). Base Georreferencial. Disponível em: <www.sigrh.sp.gov.br> Acesso em 20 mar. 2007.
- [8] TOMAZ, P. Aproveitamento de Água de Chuva: Para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. São Paulo: Navegar Editora, 2003. 180p.
- [9] TUCCI, C. E. M. et al. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995. 428p.