

# VOLUME DO RESERVATÓRIO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL BASEADO NO CONCEITO DO BALANÇO DE VAZÕES PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

## CALCULUS OF CISTERN VOLUME OF THE RAINWATER HARVESTING SYSTEM BASED ON THE MAXIMUM HARVESTING CONCEPT APPLIED TO LOW-INCOME HOUSEHOLDS

**Rodrigo Braga Moruzzi<sup>1</sup>, Samuel Conceição de Oliveira<sup>2</sup>, Gabriela Carvalho<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Rio Claro -DEPLAN/ICGE, Av. 24 A, 1515; 13.506-900; Rio Claro-SP, (19) 3526-9339; e-mail: rmoruzzi@rc.unesp.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Rio Claro, Caixa Postal 178; 13.506-900; Rio Claro-SP, (19) 35262833; e-mail: scoliv@rc.unesp.br

<sup>3</sup> Engenheira Ambiental – UNESP - Campus de Rio Claro

*Recebido para publicação em 03/09/2008*

*Aceito para publicação em 04/12/2008*

### RESUMO

O aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas é assunto de recentes discussões e permeia o tema de construções sustentáveis. O reservatório de armazenamento é um item imprescindível do sistema de aproveitamento de água pluvial. Seu dimensionamento depende das características da captação, dos índices pluviométricos locais e das demandas exercidas. Entretanto, ao considerar que o reservatório deve permanecer cheio a maior parte do tempo, as dimensões do tanque tornam-se demasiadamente exageradas e o investimento proibitivo à maioria da população. O conceito do Método do Máximo Aproveitamento (MMA), desenvolvido por Mierzwa (2007), baseia-se na premissa de que o volume aproveitável ocorre nos dias em que o volume armazenado é maior ou igual à demanda. Este trabalho versa aplicar e comparar dois métodos (MMA e Rippl) no cálculo do volume de reservação, visando atender a demanda exercida em vaso sanitário para residências unifamiliares. O volume calculado pelo MMA foi menor daquele obtido através da aplicação do conceito de regularização da vazão (Rippl), implicando em menores custos e tempos de amortização do investimento. A aplicação do MMA pode viabilizar a implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas com menores custos.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de água pluvial. Volume do reservatório. Residência unifamiliar.

## ABSTRACT

The urban rainwater harvesting is an up-to-date subject and is linked to sustainable builds theme. The storage reservoir, or cistern, is one of the most important units of the rainwater harvesting system. The cistern design depends on catchments characteristics, local rainfall and demands. The volume equalization, Rippl's Method, is one possible design criteria, however, the cistern dimensions become very large and costly when considering that it must remain filled mostly in order to supply water to the dry season demands. On the other hand, the maximum harvesting concept (MHC) proposed by Mierzwa (2007) is based on the hypothesis that rainwater must be used during the rain season. Thus, it considers that the rainwater harvesting occurs only when the storage volume is equal or greater than the demand. This work compared the Rippl and MHC methods in order to supply the water demand of a toilet flush in low-income households. The cistern volume obtained by means of the maximum harvesting method was considerably lower than the one obtained by the Rippl's Method, implying lower costs and shorter pay back time. Results pointed out that the application of the maximum harvesting concept may make the rainwater harvesting system in low-income houses easier and cheaper.

**Keywords:** Rainwater harvesting. Reservoir volume. Household

### 1 - Introdução

A escassez de água potável nas cidades brasileiras, principalmente nas regiões metropolitanas caracterizadas pela alta densidade populacional, tem fomentado a investigação de fontes alternativas de suprimento, tais como: aproveitamento de água pluvial e o reuso de efluentes. A viabilização do uso dessas fontes alternativas depende de uma série de estudos a respeito de seus aspectos qualitativos e quantitativos.

No que tange à água pluvial, os aspectos qualitativos dependem da localização geográfica, dos índices pluviométricos locais e do tipo de superfície de captação, podendo ser recomendado inclusive algum tipo de tratamento, dependendo da qualidade exigida ao uso pretendido. Neste sentido, diversos estudos (ANNECCHINI, 2005; MAY, 2004; MARTINSON; THOMAS, 2005) demonstram a importância do descarte da primeira chuva na obtenção de água de melhor qualidade. Por sua vez, os aspectos quantitativos envolvem os índices pluviométricos locais, a área de captação e a demanda a ser atendida.

O sistema de aproveitamento de água pluvial consiste em instalações hidráulicas e reservação independentes dos demais sistemas prediais. A implantação desse tipo de sistema em habitações unifamiliares é

fortemente dependente do custo do investimento, principalmente em residências de média a baixa renda.

O volume do reservatório para um sistema de aproveitamento de água pluvial representa a maior parte do investimento necessário (MARTINSON; THOMAS, 2005). Nesse sentido, a adoção de um método de dimensionamento apropriado torna-se fundamental para a viabilidade técnico-econômica de implantação do sistema.

Existem diversos métodos de dimensionamento de reservatórios de acúmulo de água pluvial, dentre os quais se destaca o Método de Rippl, pela sua ampla utilização e simplicidade de cálculo.

Segundo Tomaz (2005), o Método de Rippl versa por regularizar o abastecimento de água tanto no período chuvoso quanto no período de estiagem, atendendo totalmente a demanda exercida. Entretanto, segundo Mierzwa et al. (2007), este atendimento se faz às custas de um grande volume de reservação, podendo, em alguns casos, inviabilizar técnica e economicamente a implantação do sistema.

Alternativamente, o Método do Máximo Aproveitamento (MMA), proposto por Mierzwa et al. (2007), visa o aproveitamento da água pluvial no período mais chuvoso. Por este método, o volume de reservação obtido é significativamente menor daquele obtido com o Método de Rippl.

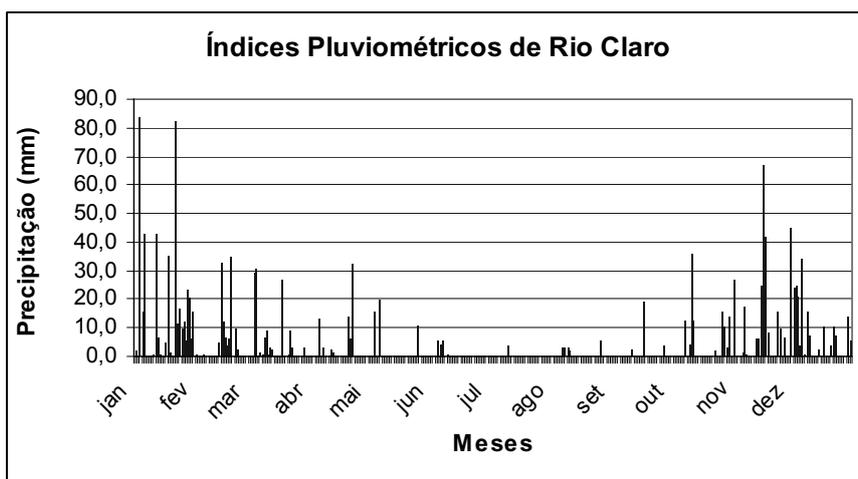
## 2 - Objetivo

O objetivo deste artigo é aplicar e comparar os métodos do MMA e Rippl, contrapondo vantagens, desvantagens e limitações de modo a apoiar decisões e difundir metodologias apropriadas para o aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares. Por fim, foi verificado o valor do investimento e tempo de amortização para cada condição investigada.

## 3 - Metodologia

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 através do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH) do Estado de São Paulo (Figura 1).

Vale mencionar que, para projetos de sistemas de aproveitamento de água pluvial, recomenda-se utilizar um histórico de dados de pelo menos dez anos. No entanto, tendo em vista que o principal objetivo do estudo foi aplicar e comparar dois métodos de dimensionamento, a adoção dos dados pluviométricos do ano de 2003 reflete, igualmente para os dois métodos investigados, o erro referente à representatividade estatística.



**Figura 1** - Índices pluviométricos diários do município de Rio Claro coletados na estação meteorológica da UNESP, Campus Bela Vista (CEAPLA) no ano de 2003.

Em um sistema de captação e aproveitamento de água pluvial, pode-se utilizar como superfície de captação telhados ou pavimentos, sendo que a água captada através dos telhados apresenta qualidade superior. Áreas de captação superiores a 350m<sup>2</sup> normalmente apresentam-se mais favoráveis ao investimento de um sistema de aproveitamento de água pluvial quando comparadas a menores áreas, mesmo utilizando os métodos tradicionais de dimensionamento. Assim, neste estudo optou-se pela investigação de telhados cobertos com telhas cerâmicas com áreas de projeção horizontal de 80, 120 e 200m<sup>2</sup>.

A metodologia empregada encontra-se descrita em Carvalho et al (2007). Neste artigo, foram simuladas as mesmas condições de atendimento comparando-se diferentes métodos. Assim, julgou-se conveniente reapresentar alguns valores adotados. O coeficiente de escoamento adotado nas investigações foi de 0,8, valor, que corresponde ao coeficiente apresentado por Tucci et al. (1995) e Tomaz (2005) para telhas cerâmicas.

A partir desses dados, calculou-se o volume de precipitação (vazão de entrada) por meio do uso da Equação 1, conforme apresentado em Tomaz, 2005.

$$V_p = (C.A.P)/1000 \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

$V_p$  = volume de precipitação (m<sup>3</sup>);  
 $C$  = coeficiente de escoamento superficial (adimensional), cujo valor adotado no estudo foi de 0,8;  
 $P$  = precipitação (mm);  
 $A$  = área de captação (m<sup>2</sup>).

Com relação ao volume de descarte da primeira chuva, foram investigados quatro valores correspondentes à precipitação de descarte de 0, 1, 2 e 4 mm. Para determinar o volume correspondente ao descarte, utilizou-se a Equação 2.

$$V_{desc} = (P_{desc} \cdot A) / 1000 \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

$V_{desc}$  = volume de descarte da primeira chuva ( $m^3$ );  
 $P_{desc}$  = precipitação de descarte da primeira chuva (mm);  
 $A$  = área de captação ( $m^2$ ).

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

As demandas a serem atendidas correspondem à quantidade de água consumida nos vasos sanitários com caixa acoplada de residências unifamiliares com 3, 4 e 5 habitantes. Foram consideradas cinco descargas por habitante por dia e um volume de descarga de 6L, conforme proposto por Anecchini (2005), obtendo-se a demanda para cada condição. A Tabela 1 sintetiza todas as condições investigadas para cada método analisado (Rippl e MMA).

**Tabela 1** - Condições investigadas para cada método analisado (Rippl e MMA).

Área de captação ( $m^2$ )	Descarte da primeira chuva (mm)	Número de habitantes - Demanda Diária - Mensal ( $m^3$ )*
80, 120 e 200	0, 1, 2 e 4	3 - 0,09 - 2,7
80, 120 e 200	0, 1, 2 e 4	4 - 0,12 - 3,6
80, 120 e 200	0, 1, 2 e 4	5 - 0,15 - 4,5

\* Considerando: 5descargas/hab.dia e 6L/descarga.

Para a análise econômica de ambos os métodos foram utilizados os custos médios, por unidade de volume, propostos por Tomaz (2005). Estes custos, segundo o autor, variam de US\$ 105/ $m^3$  a US\$ 137/ $m^3$  para reservatórios de PVC ou fibra de vidro. Para o cálculo do tempo de amortização do investimento, foi utilizado o método do *Pay-Back*.

### 3.1 - 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 Equação 3.

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

em que:

$dV/dt$  = variação do volume no reservatório;

$V_p$  = volume de precipitação considerando o descarte da primeira chuva;

$C$  = coeficiente de escoamento (0,8);

Demanda = demanda de água exercida.

Os cálculos foram realizados através de um programa computacional elaborado em linguagem **FORTRAN**. Os dados de entrada do programa foram:

- precipitação diária (mm);
- coeficiente de escoamento (0,8);
- volume correspondente ao descarte da primeira chuva (0, 1, 2 e 4 mm);
- área de captação (80, 120 e 200  $m^2$ );
- demanda diária (0,09; 0,12; e 0,15  $m^3$ );
- volume proposto para o reservatório (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 10; 12,5; e 15  $m^3$ ).

Para cada uma das três demandas investigadas foram variados: i) quatro valores de descarte; ii) três valores para área de captação, e; iii) treze volumes de reservatório.

Os dados de saída do programa foram os seguintes:

- Volume precipitado acumulado ( $V_{p(ac)}$ ) = somatória do volume precipitado acumulado para cada área de captação, já considerando o descarte da primeira chuva;
- Volume aproveitável acumulado ( $V_{ap(ac)}$ ) = somatória do volume aproveitado durante o ano correspondente ao valor da demanda para os dias onde  $dV/dt_{(\text{diário})} \geq 0$ ;
- Volume coletado acumulado ( $V_{col(ac)}$ ) = somatória do volume coletado considerando a demanda diária e a capacidade do reservatório;
- Dias de déficit = número de dias em que não houve aproveitamento de água pluvial, ou seja, quando  $dV/dt_{(\text{diário})} < 0$ .

Os resultados da simulação obtidos com o programa **FORTRAN** foram organizados em planilhas eletrônicas no Excel, elaborando-se nove 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 (Vap) no ano e a demanda anual a ser atendida para cada condição investigada.

A adoção do volume proposto pelo MMA, para efeito de comparação com o Método de Rippl, foi realizada considerando o potencial de economia obtido para cada volume investigado. Para tal, foram selecionados os potenciais de economia na faixa de 70%.

### 3.2 - Método de Rippl

O cálculo do volume do reservatório através do método de Rippl, constante na NBR 15527/07, leva em consideração o conceito da regularização de vazão. Para aplicação do método, utilizaram-se valores de precipitações mensais de Rio Claro, a fim de se obter os seus respectivos volumes (eq. 1). Os valores de demanda, de descarte da primeira chuva e a área de captação foram os mesmos utilizados no método do máximo aproveitamento.

A partir desses dados, calculou-se a diferença entre as demandas e os volumes de precipitação (considerando o descarte da primeira chuva). Em seguida, foi calculada essa mesma diferença, porém acumulada dos valores positivos. O maior valor acumulado obtido nessa diferença calculada corresponde ao volume do reservatório sugerido pelo método.

O tratamento dos dados e a elaboração de gráficos foram realizadas em planilhas eletrônicas no Excel. Com estes dados organizados em tabelas, foram feitos gráficos para apresentar os resultados obtidos pelo método.

## 4 - Análises de resultados

Com os resultados obtidos utilizando o método de Rippl, foram elaborados três gráficos para as três demandas analisadas (Figura 2). Em todos os casos analisados, observou-se que o aumento do descarte da primeira chuva implicou em um incremento no volume do reservatório. Esse incremento ocorre porque a oferta diminui, mas a demanda não sofre variação e, como o conceito do método consiste em atender totalmente a demanda, o volume a ser reservado aumenta.

O incremento da área de captação implicou em uma diminuição considerável do volume do reservatório podendo alcançar valores correspondentes a 30% do volume obtido para menores áreas, diminuição esta observada claramente para as áreas de 80 e 200m<sup>2</sup>. Isso se deve ao fato que maiores áreas implicam em maiores valores de Vp para a mesma precipitação.

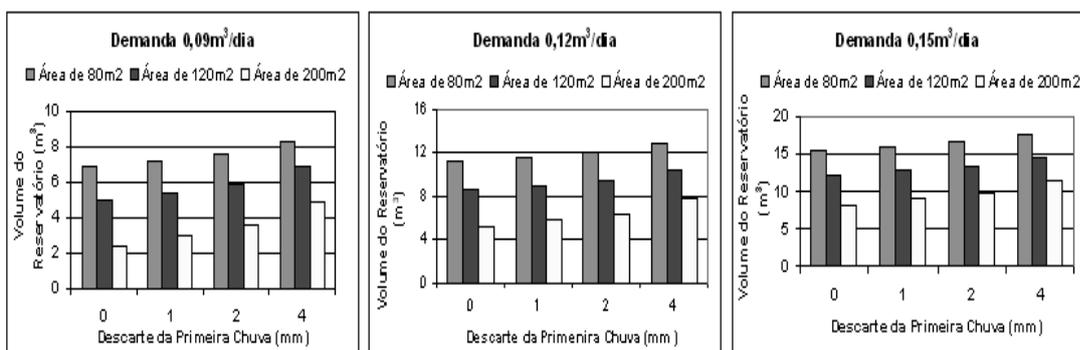


Figura 2 - Volumes de reservação obtidos através do Método de Rippl para diferentes demandas, áreas de captação e descartes da primeira chuva.

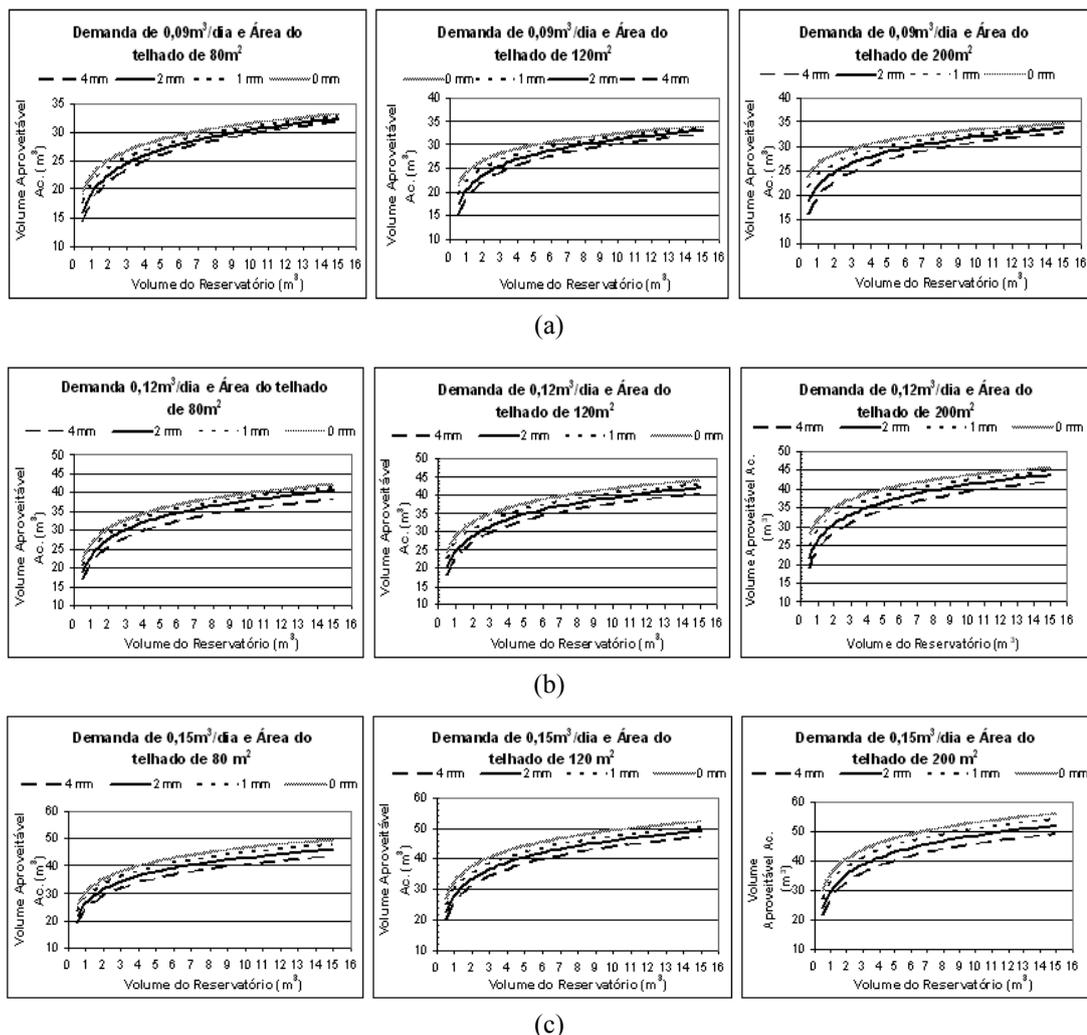
Com relação à demanda, verificou-se que o aumento da mesma implica em um aumento do volume do reservatório, devido à hipótese de regularização de vazão do método, impondo o total atendimento da demanda exercida, inclusive nos períodos de estiagem.

Em geral, nos gráficos obtidos pelo MMA (Figura 3) verificou-se que o aumento dos volumes propostos para os reservatórios resulta em um incremento do volume aproveitável no ano, sendo que, a partir de um determinado volume de reservatório, o volume aproveitável tende a um valor máximo, pois a demanda a ser atendida permanece constante.

Além disso, foi verificado para o MMA que, conforme a demanda aumenta, aumenta também o volume aproveitável no ano, pois uma demanda maior requer um maior volume de água armazenada para supri-la. Observou-se que para demanda de  $0,09\text{m}^3/\text{dia}$ , o máximo volume aproveitável ficou entre  $30$  e  $35\text{m}^3$ ; para demanda de  $0,12\text{m}^3/\text{dia}$ , esse volume variou de  $35$  a  $45\text{m}^3$ ; e quando a demanda é de  $0,15\text{m}^3/\text{dia}$ , esse valor variou de  $45$  a  $55\text{m}^3$ .

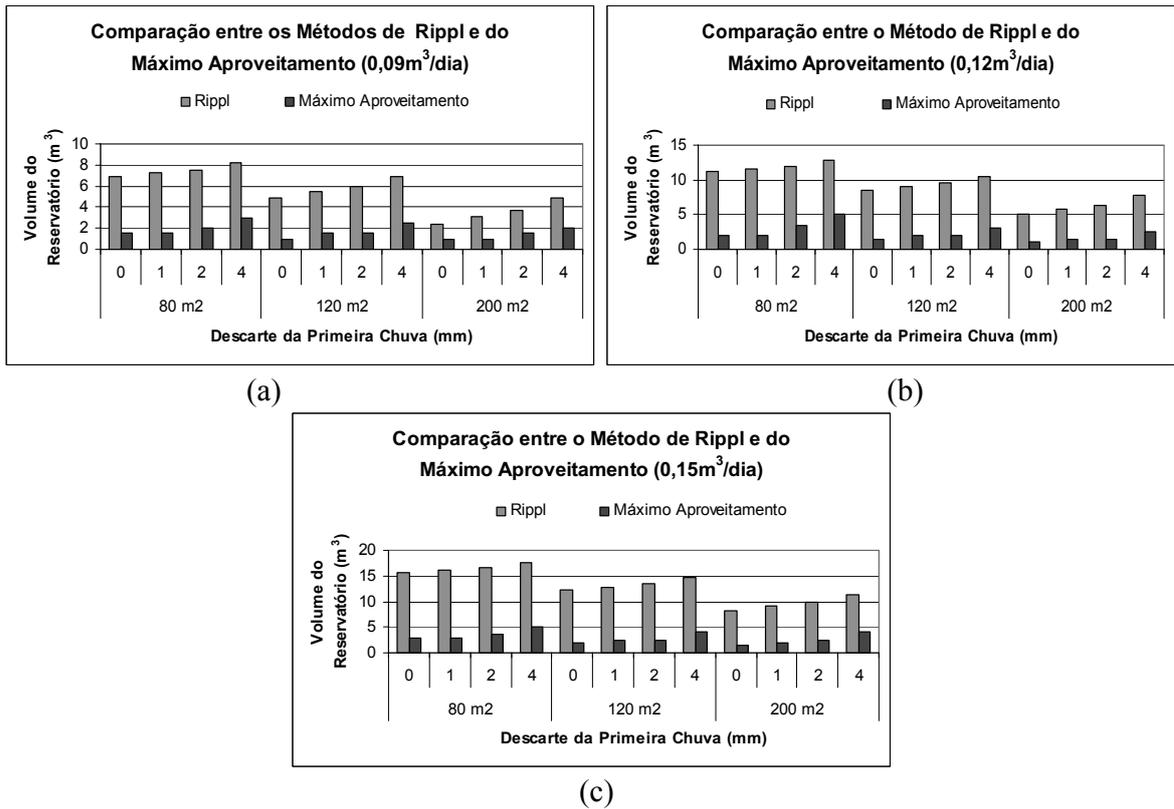
Para todas as demandas e todos os valores de descarte da primeira chuva investigados no MMA, o aumento da área de captação implicou no aumento do volume aproveitável no ano. Este aumento foi verificado no Método de Rippl também.

Os dois métodos conduziram a diferentes volumes de reservatórios (Figura 4). O incremento do volume do reservatório foi mais evidente para as menores áreas investigadas quando o método de Rippl foi empregado. Nesse caso, menores áreas conduziram a menores volumes. Já no Método do Máximo Aproveitamento, o incremento do volume com a variação da área de captação não foi tão expressivo quando comparado ao método anterior.



**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  $0,09\text{m}^3/\text{dia}$  (a),  $0,12\text{m}^3/\text{dia}$  (b) e  $0,15\text{m}^3/\text{dia}$ . Fonte: Carvalho et al (2007).

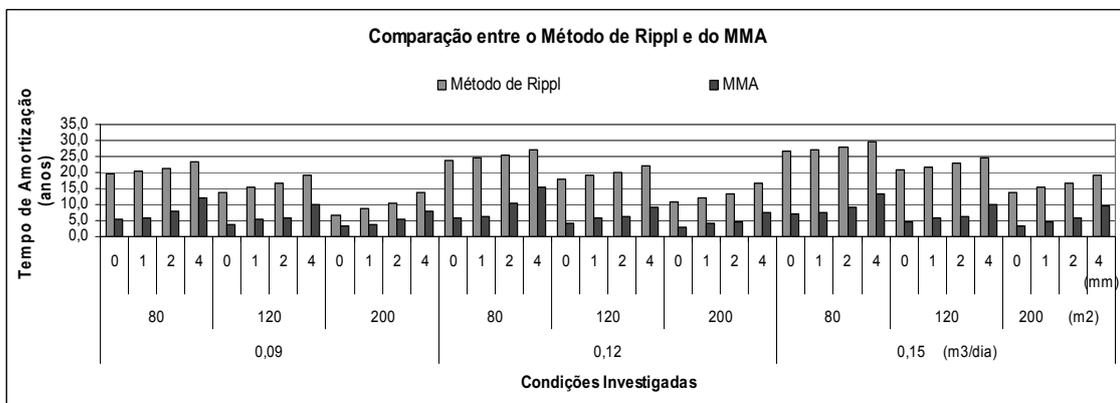
Utilizando o MMA, verificou-se que, independente da demanda e da área de captação, quanto maior o volume de descarte da primeira chuva, menor o volume aproveitável no ano, pois a oferta diminui, fato que também ocorreu quando o Método de Rippl foi empregado.



**Figura 4 -** Comparação entre o Método de Rippl e o MMA para demanda de 0,09m³/dia (a), 0,12m³/dia (b) e 0,15m³/dia (c), considerando as áreas de captação e descartes investigados. O critério utilizado para a escolha do volume de reservatório obtido através do MMA foi o potencial de economia em torno

Comparando-se os volumes de reservatório obtidos, verificou-se que, no MMA, esses foram inferiores aos obtidos com o Método de Rippl. Porém, vale mencionar que o Método de Rippl garante que toda a demanda seja atendida (devido à hipótese de regularização da vazão), enquanto que, para o MMA, foi adotado um potencial de economia de aproximadamente 70%.

Os valores obtidos dos custos dos reservatórios dimensionados pelo Método de Rippl foram maiores daqueles obtidos com o MMA. Além disso, este último apresentou um menor tempo de amortização do investimento (Tabelas 2 e 3 e Figura 5).



**Figura 5 -** Comparação entre os tempos de amortização obtidos através do Método de Rippl e do MMA para diferentes valores de descarte da primeira chuva (mm), áreas de captação (m²) e demandas

**Tabela 2 -** Comparação dos volumes dos reservatórios, custos e volumes economizados por ano obtidos pelo Método de Rippl e pelo MMA para as condições investigadas.

Demanda (m <sup>3</sup> /dia)	Área (m <sup>2</sup> )	Descarte (mm)	Volume do Reservatório (m <sup>3</sup> )		Custo (R\$)*		Volume economizado por ano (m <sup>3</sup> )	
			Rippl	MMA	Rippl	MMA	Rippl	MMA
0,09	80	0	6,9	1,5	1.837,7	399,5	32,4	24,4
		1	7,22	1,5	1.922,9	399,5	32,4	23,2
		2	7,54	2	2.008,1	532,7	32,4	22,7
		4	8,26	3	2.199,9	799,0	32,4	22,6
	120	0	4,94	1	1.315,7	266,3	32,4	24,6
		1	5,42	1,5	1.443,5	399,5	32,4	24,7
		2	5,9	1,5	1.571,3	399,5	32,4	23,2
		4	6,86	2,5	1.827,0	665,8	32,4	22,8
	200	0	2,44	1	649,8	266,3	32,4	26,1
		1	3,04	1	809,6	266,3	32,4	24,3
		2	3,64	1,5	969,4	399,5	32,4	24,7
		4	4,84	2	1.289,0	532,7	32,4	23,3
0,12	80	0	11,16	2	2.972,2	532,7	43,2	30,8
		1	11,56	2	3.078,8	532,7	43,2	29,4
		2	11,96	3,5	3.185,3	932,1	43,2	30,3
		4	12,76	5	3.398,3	1.331,6	43,2	29,5
	120	0	8,54	1,5	2.274,4	399,5	43,2	32,2
		1	9,02	2	2.402,3	532,7	43,2	31,5
		2	9,50	2	2.530,1	532,7	43,2	29,6
		4	10,46	3	2.785,8	799,0	43,2	29,4
	200	0	5,14	1	1.368,9	266,3	43,2	30,8
		1	5,74	1,5	1.528,7	399,5	43,2	32,3
		2	6,34	1,5	1.688,5	399,5	43,2	29,8
		4	7,84	2,5	2.088,0	665,8	43,2	30,2
0,15	80	0	15,66	3	4.172,0	799,0	54,0	38,0
		1	16,09	3	4.286,4	799,0	54,0	36,2
		2	16,57	3,5	4.414,2	932,1	54,0	34,9
		4	17,53	5	4.669,9	1.331,6	54,0	33,9
	120	0	12,25	2	3.261,8	532,7	54,0	39,1
		1	12,85	2,5	3.421,6	665,8	54,0	37,9
		2	13,45	2,5	3.581,4	665,8	54,0	35,8
		4	14,65	4	3.901,0	1.065,3	54,0	36,1
	200	0	8,24	1,5	2.194,5	399,5	54,0	39,9
		1	9,04	2	2.407,6	532,7	54,0	39,8
		2	9,84	2,5	2.620,7	665,8	54,0	38,6
		4	11,44	4	3.046,8	1.065,3	54,0	37,9

**Tabela 3 -** Comparação dos valores referentes aos potenciais de economia, economia anual e tempo de amortização obtidos pelo Método de Rippl e pelo MMA para as condições investigadas.

Demanda (m <sup>3</sup> /dia)	Área (m <sup>2</sup> )	Descarte (mm)	) Potencial de Economia para MMA**	Economia anual (R\$)***		Tempo de Amortização (anos)	
				Rippl	MMA	Rippl	MMA
0,09	80	0	75%	94,6	71,3	19,4	5,6
		1	72%	94,6	67,7	20,3	5,9
		2	70%	94,6	66,4	21,2	8,0
		4	70%	94,6	66,1	23,3	12,1
	120	0	76%	94,6	71,8	13,9	3,7
		1	76%	94,6	72,1	15,3	5,5
		2	72%	94,6	67,7	16,6	5,9
		4	70%	94,6	66,6	19,3	10,0
	200	0	81%	94,6	76,2	6,9	3,5
		1	75%	94,6	71,0	8,6	3,8
		2	76%	94,6	72,1	10,2	5,5
		4	72%	94,6	67,9	13,6	7,8
0,12	80	0	71%	126,1	89,9	23,6	5,9
		1	68%	126,1	85,7	24,4	6,2
		2	70%	126,1	88,5	25,3	10,5
		4	68%	126,1	86,1	26,9	15,5
	120	0	75%	126,1	94,0	18,0	4,2
		1	73%	126,1	91,9	19,0	5,8
		2	68%	126,1	86,4	20,1	6,2
		4	68%	126,1	85,7	22,1	9,3
	200	0	71%	126,1	89,9	10,9	3,0
		1	75%	126,1	94,3	12,1	4,2
		2	69%	126,1	87,1	13,4	4,6
		4	70%	126,1	88,1	16,6	7,6
0,15	80	0	70%	157,7	111,0	26,5	7,2
		1	67%	157,7	105,8	27,2	7,5
		2	65%	157,7	102,0	28,0	9,1
		4	63%	157,7	98,9	29,6	13,5
	120	0	72%	157,7	114,0	20,7	4,7
		1	70%	157,7	110,6	21,7	6,0
		2	66%	157,7	104,5	22,7	6,4
		4	67%	157,7	105,4	24,7	10,1
	200	0	74%	157,7	116,6	13,9	3,4
		1	74%	157,7	116,2	15,3	4,6
		2	72%	157,7	112,8	16,6	5,9
		4	70%	157,7	110,6	19,3	9,6

\* valor de referência U\$137/m<sup>3</sup> para R\$1,94/U\$

\*\* o potencial de economia para o Método de Rippl é de 100% devido à hipótese de regularização de vazão

\*\*\* valor médio de tarifa adotada contemplando água e esgoto de R\$2,92

Observou-se nos dois métodos que, fixando a demanda, a diminuição da área de captação incorre em aumento do tempo de amortização, pois o volume passível de aproveitamento diminui para menores áreas de captação, reduzindo a oferta de água pluvial. Adicionalmente, verificou-se que o aumento do descarte também ocasiona em um incremento no tempo de amortização, pela mesma razão apresentada anteriormente (redução da oferta), independente da demanda exercida. Analisando diferentes valores de demanda, verificou-se que o menor tempo de

amortização do investimento ocorreu para a demanda correspondente a 0,09m<sup>3</sup>/dia para a área de captação de 200m<sup>2</sup> e descarte de 0mm quando empregado o método de Rippl. Diferentemente, quando o MMA foi aplicado verificou-se que o menor tempo de amortização ocorreu para a demanda de 0,12m<sup>3</sup>/dia para a área de captação de 200m<sup>2</sup> e descarte de 0mm, com potencial de economia de 71%. Salienta-se que, para o MMA, diferentes percentuais de atendimento (expressos em potencial de economia) podem ser alcançados com o mesmo volume de reservação,

implicando em valores iguais de investimento. Assim, no MMA, verificou-se que para um mesmo investimento inicial (mesmo volume de reservação), o tempo de amortização variou com a demanda. No entanto, os valores de tempo de amortização obtidos através do método de Rippl aumentaram conforme o acréscimo de demanda e conseqüentemente do volume do reservatório, pois o método pressupõe o total atendimento da mesma, requerendo maiores capacidades dos reservatórios.

Na Tabela 4 foram investigados os custos, tempos de amortização e potenciais de economias para um volume fixo de reservatório de 500L, considerando descarte de 2mm e área de captação de 80m<sup>2</sup>.

Demanda (m <sup>3</sup> /dia)	Potencial de Economia	Volume Economizado por Ano (m <sup>3</sup> )	Economia Anual* (R\$)	Custo** (R\$)	Tempo de Amortização (anos)
0,09	48,2%	15,84	46,25	102,06 - 133,16	2,2 - 2,9
0,12	42,2%	18,48	53,96	102,06 - 133,16	1,9 - 2,5
0,15	35,9%	19,65	57,38	102,06 - 133,16	1,8 - 2,3

\* valor médio de tarifa adotada contemplando água e esgoto de R\$2,92

\*\* valor de referência de US\$105/m<sup>3</sup> a US\$137/m<sup>3</sup> para R\$1,94/US

Analisando os dados da Tabela 4, observou-se que o potencial de economia variou com a demanda e que a utilização de um reservatório de 500 litros pôde atender a, aproximadamente, 48% da demanda de uma residência com três habitantes (0,09m<sup>3</sup>/dia), obtendo-se tempo de amortização do investimento de dois a três anos. Com esse mesmo volume de reservatório, o menor tempo de amortização calculado foi de 1,8 anos, obtido para a demanda de 0,15m<sup>3</sup>/dia. Vale mencionar que, embora aparentemente contraditório, existe uma relação direta entre os valores de tempo de amortização e os valores de potencial de economia. Fato que pode ser explicado considerando que a variação do nível de água no interior do reservatório é maior para a demanda de 0,15m<sup>3</sup>/dia. Assim, o volume coletado é maior, em termos absolutos, resultando em maior economia anual, entretanto, em termos relativos, o potencial de economia é menor.

Espera-se que esses resultados possam subsidiar decisões visando incentivar a implantação de sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares de médio a pequeno porte.

## 5 - Conclusão

A partir dos resultados obtidos, concluiu-se que:

- o dimensionamento de reservatórios através do Método do Máximo Aproveitamento (baseado no balanço de vazão) resultou em volumes menores e, conseqüentemente, em custos inferiores de implantação, quando comparado ao Método de Rippl (baseado na regularização de vazão);

- comparando os custos do reservatório de armazenamento obtidos através do Método de Rippl e MMA, verificou-se uma diferença mais acentuada para as menores áreas de captação investigadas;

- os volumes de reservatório obtidos pelo MMA apresentaram tempos de amortização do investimento mais curtos;

- fixando-se o volume do reservatório em 500L e empregando o MMA, verificou-se um potencial de economia de 36 a 48% com tempos de amortização variando de 1,8 a 3 anos para as demandas diárias investigadas, área de captação de 80m<sup>2</sup> e descarte da primeira chuva de 2mm. Nesse caso, verificou-se que o menor tempo de amortização (1,8 anos) foi obtido para a maior demanda investigada (0,15m<sup>3</sup>/dia).

## REFERÊNCIAS

ANNECCHINI, K. P. V. **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, 2005. 124f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**. Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. 8p. 2007.

CARVALHO, G. S., OLIVEIRA, S. C., MORUZZI, R. B. Cálculo do volume de reservatório de sistema de aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos para aplicação em residência unifamiliar. In: SIMPÓSIO NACIO-

NAL DE SISTEMAS PREDIAIS: DESENVOLVIMENTO E INOVAÇÃO, 10. São Carlos. 2007.

MARTINSON, D.B.; THOMAS, T. Quantifying the first flush phenomenon. In: INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCE, 12. Nov 2005, New Delhi, India.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 159f.

MIERZWA, J. C. et al. 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.

SIGRH. Sistema de informações para o gerenciamento de recursos hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/>>

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva:** para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar Editora, 2005. 180p.