

# DETERMINAÇÃO DO VOLUME MÍNIMO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DA CHUVA UTILIZANDO UMA FORMULAÇÃO INCREMENTAL

Luiz Antonio Farani de Souza (UTFPR) lasouza@utfpr.edu.br

**Resumo:** A busca por alternativas eficientes para a redução do consumo de água potável é cada vez maior em função da justificada preocupação atual com a sua utilização racional. Entre as soluções, o aproveitamento da água pluvial aparece como uma alternativa, porque, além de reduzir o consumo de água potável, funciona indiretamente como uma medida não estrutural para a drenagem urbana. As dimensões do reservatório, dentro deste sistema, é item fundamental para a sua viabilidade econômico-financeira. Este artigo apresenta um algoritmo para a determinação do volume mínimo deste reservatório, cuja formulação matemática incremental é fundamentada em modelos encontrados na literatura. Visando auxiliar o projetista no dimensionamento do reservatório do sistema de aproveitamento de água pluvial, estudos são realizados com o modelo por meio de simulações computacionais para edificações unifamiliares, variando-se a área de captação, a demanda e a precipitação de descarte da primeira chuva. A verificação do sistema é feita a partir dos parâmetros eficiência e confiança. Em adição, considera-se uma série de dados de chuva de longo período - precipitações mínimas, médias e máximas.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de Água Pluvial, Volume Mínimo do Reservatório, Formulação Incremental.

## DETERMINATION OF RAINWATER RESERVOIR MINIMUM VOLUME USING AN INCREMENTAL FORMULATION

**Abstract:** Due to increasing concern with the rational use of potable water, efficient alternatives are sought to reduce consumption, such as the use of rain water. In addition of reducing potable water consumption, it can indirectly be used as a non-structural measure of urban drainage. The sizing of the reservoir, in this system, is essential to assessing its financial and economic feasibility. This paper presents an algorithm for determining the reservoir minimum volume, whose incremental mathematical formulation is based on models found in the literature. Aiming to help the designer in sizing the reservoir of rainwater harvesting system, studies are performed with the model through computer simulations for household varying the catchment surface, demand and rain first discarding precipitation. The verification of the system is made from the efficiency and reliability parameters. In addition, it is considered a rain data series of long period - minimum, average and maximum precipitation.

**Keywords:** Rainwater Harvesting System, Reservoir Minimum Volume, Incremental Formulation.

### 1. INTRODUÇÃO

Fundamental para a vida no planeta a água doce é atualmente o mais ameaçado recurso, tanto devido à escassez quanto à qualidade. As intensas e crescentes agressões ao meio ambiente vêm comprometendo cada vez mais a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos disponíveis. Ao mesmo tempo, os recursos hídricos vêm sendo desperdiçados de diferentes formas em todo o mundo, sobretudo nos grandes centros urbanos. Esse quadro é uma crescente preocupação mundial, considerando que a água potável é um recurso natural finito, cada vez mais caro e escasso (WAKED et al., 2013).

Uma das soluções em estudo para aumentar a oferta de água para as edificações é o aproveitamento da água pluvial. Esta se apresenta como uma boa alternativa, uma vez que, além de reduzir o consumo de água potável, surge como uma ação no combate às enchentes, funcionando como uma medida não estrutural no sistema de drenagem urbana (AMORIM; PEREIRA, 2008).

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial são formados basicamente pela área de captação (geralmente coberturas), os componentes de transporte (calhas e condutores verticais) e o reservatório. O tratamento necessário dependerá da utilização final que se dará a essa água.

O reservatório, item imprescindível no sistema de aproveitamento de água pluvial, deve ter suas dimensões 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; OLIVEIRA, 2010).

Há diversos métodos de dimensionamento do reservatório que resultam em volumes distintos. A decisão pelo método mais adequado é de suma importância para a viabilidade técnico-econômica de implantação do sistema. Na seleção do método mais adequado diversos fatores devem ser considerados, entre outros: a demanda a ser atendida e a área de captação (MORUZZI et al., 2012).

Na atualidade, a maioria dos projetos de reservatório de água pluvial com a finalidade de aproveitamento para fins não potáveis tem sido conduzida na base de critérios puramente empíricos. A predominância de tais critérios sobre os racionais decorre da variedade e da complexidade dos métodos de dimensionamento encontrados na literatura, o que muitas vezes dificulta a utilização dos mesmos. Sendo assim, este artigo apresenta um algoritmo para a determinação do volume mínimo do reservatório, cuja formulação matemática incremental é baseada nos métodos da Simulação e Australiano, ambos descritos na NBR 15527/2007.

Nos estudos de casos analisados, a demanda de água para fins não potáveis em edificação unifamiliar é estimada considerando descargas de bacias sanitárias, irrigação de jardim ou gramado e lavagem de automóvel. Também é utilizada a série de dados de chuva obtida da estação pluviométrica de Curitiba - PR (025490006), localizada na UFPR, compreendida entre os anos de 1889 a 2005, apresentada no trabalho de GOMES et al. (2010). A partir desse conjunto de dados, simulações são realizadas considerando as precipitações mensais médias, mínimas e máximas, bem como as quantidades totais correspondentes de dias de chuva. Em adição, este algoritmo é comparado com métodos empíricos apresentados na NBR 15527/2007, verificando-se o desempenho do reservatório por meio dos parâmetros eficiência e confiança do sistema.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Determinação do volume passível de aproveitamento

O volume total de precipitação no mês  $t$  ( ${}^tV_p$ ), dado em  $m^3$ , é determinado por (TOMAZ, 2005):

$${}^tV_p = \frac{C A {}^tP}{1000}, \quad t = 1, \dots, n \quad (1)$$

Onde  $C$  é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional),  ${}^tP$  a precipitação no mês  $t$  (mm),  $A$  a área de captação ( $m^2$ ), e  $n$  o número total de meses.

O volume correspondente ao descarte no mês  $t$  ( ${}^tV_{desc}$ ), dado em  $m^3$ , é calculado por:

$${}^tV_{desc} = \frac{A \sum_{i=1}^{d_t} \min(P_{desc}, {}^tP_i)}{1000}, \quad t = 1, \dots, n \quad (2)$$

Onde  $P_{desc}$  é a precipitação de descarte da primeira chuva a ser adotada (mm),  $d_t$  o número de dias com precipitação no mês  $t$ , e  ${}^tP_i$  a precipitação do dia  $i$  no mês  $t$ . O volume passível de aproveitamento ( ${}^tV_{aprov}$ ), em  $m^3$ , é dado por (MORUZZI et al., 2008):

$${}^tV_{aprov} = {}^tV_p - {}^tV_{desc}, \quad t = 1, \dots, n \quad (3)$$

De acordo com a NBR15527/07, adota-se dois milímetros para o descarte da primeira chuva quando não se dispõe de dados (GHISI, 2006; MORUZZI et al., 2012).

Considerando o conjunto de dados obtidos da estação pluviométrica de Curitiba (025490006) compreendido entre os anos de 1889 a 2005, localizada na UFPR, obtém-se uma precipitação anual média de longo período de 1426,3 mm, e uma variação nas precipitações anuais de 765,5 mm a 2165,2 mm. Na Tabela 1 são apresentadas as precipitações médias, mínimas e máximas mensais, bem como as quantidades totais correspondentes de dias com chuva (GOMES et al., 2010).

Tabela 1 – Precipitações mensais e as quantidades correspondentes de dias com chuva.

Mês	Precipitação Média (mm)	Número médio de dias com chuva	Precipitação Mínima (mm)	Número mínimo de dias com chuva	Precipitação Máxima (mm)	Número máximo de dias com chuva
Jan	189,0	19	20,9	7	473,8	28
Fev	154,0	18	12,9	6	421,7	26
Mar	123,4	18	22,2	7	335,8	25
Abr	80,9	16	7,7	7	196,9	25
Mai	98,0	17	4,2	4	365,6	27
Jun	97,5	15	2,6	1	312,7	23
Jul	79,8	14	2,7	3	347,5	30
Ago	80,1	13	2,0	1	271,1	26
Set	124,6	15	6,3	5	358,7	26
Out	136,0	15	26,4	6	405,9	24
Nov	114,8	15	15,6	6	344,1	25
Dez	148,2	17	46,6	8	314,6	28

Mensurar a demanda que se deseja atender com a água da chuva é fundamental para garantir a economia do sistema, uma vez que a mesma influencia diretamente no volume do reservatório. Os dados de consumo de água interno (bacia sanitária) e externo (lavagem de carro e irrigação de gramado ou jardim) adotados para uma residência unifamiliar neste trabalho são apresentados na Tabela 2, de acordo com TOMAZ (2000).

Tabela 2 – Demanda mensal interna e externa de água não potável em uma residência unifamiliar.

Demanda interna			
Item	Volume	Frequência	Demanda mensal D (m <sup>3</sup> )
Bacia sanitária (4 habitantes)	0,006 m <sup>3</sup> /descarga	5 descargas/hab/dia	3,6
Demanda externa			
Item	Volume	Frequência	Demanda mensal D (m <sup>3</sup> )
Gramado ou jardim (25 m <sup>2</sup> )	0,002 m <sup>3</sup> /dia/m <sup>2</sup>	8 irrigações/mês	0,4
Lavagem de carro (1 carro)	0,08 m <sup>3</sup> /lavagem/carro	4 lavagens/mês	0,32
<b>Total (m<sup>3</sup>)</b>			<b>4,32</b>

## 2.2 Verificação do volume do reservatório

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

### a) *Percentual mensal de demanda atendida com água da chuva (DAm)*

Esse percentual corresponde ao quociente do volume captado no reservatório pelo volume de demanda mensal constante no mês correspondente, vezes 100. O valor de DAm pertence ao intervalo fechado [0, 100%], sendo que para DAm = 0 a demanda não é atendida, e para DAm = 100% a demanda é totalmente atendida (MAY, 2004).

### b) *Confiança*

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

$$\text{Confiança}(\%) = 100 (1 - P_r) \quad (4)$$

$$P_r = \frac{N_r}{n} \quad (5)$$

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 (DAm), e  $n$  o número de meses considerado, geralmente 12 meses. Neste trabalho, considerou-se que o reservatório atendeu à demanda para  $DAm \geq 90\%$ .

### c) *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 pertence ao intervalo fechado [0, 1] (sendo que os extremos significam totalmente ineficiente e totalmente eficiente, respectivamente) e é calculado por (DORNELLES et al., 2012):

$$e = \frac{\sum C_{AC}}{\sum C_{TNP}} \quad (6)$$

Onde  $C_{AC}$  é o consumo de água não potável atendido pelo sistema de água de chuva, e  $C_{TNP}$  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 por meio da rede de abastecimento ou outra fonte.

## 2.3 Métodos para o cálculo do volume do reservatório

Neste trabalho, os métodos apresentados na NBR 15527/2007 foram adaptados acrescentando nas suas formulações o volume aproveitável.

a) *Método prático Azevedo Neto*

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

$$V = 0,042 V_{aprova} R \tag{7}$$

Onde R o número de meses de pouca chuva ou seca. O volume aproveitável anual ( $V_{aprova}$ ) é dado pela seguinte equação:

$$V_{aprova} = A \left( P_{ma} - \sum_{i=1}^{d_a} \min (P_{desc}, {}^iP) \right) \tag{8}$$

Onde  $P_{ma}$  é a precipitação média anual (mm), A a área de coleta em projeção (m<sup>2</sup>),  $d_a$  o número de dias com precipitação no ano, e  ${}^iP$  a precipitação no dia i do ano.

b) *Método prático Inglês*

Apresentado na NBR 15527/2007, o volume do reservatório de água da chuva (L) é obtido por:

$$V = 0,05 V_{aprova} \tag{9}$$

c) *Método prático alemão*

Descrito na NBR 15527/2007, este método foi adaptado acrescentado na sua formulação o volume anual de descarte da primeira chuva. O volume do reservatório é obtido considerando o menor entre os seguintes valores: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável. Matematicamente, o método é descrito por:

$$V = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,06 V_a \\ 0,06 D_a \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,06 A \left( C P_{ma} - \sum_{i=1}^{d_a} \min (P_{desc}, {}^iP) \right) \\ 0,72 D \end{array} \right. \tag{10}$$

Onde  $V_a$  é volume anual de precipitação aproveitável (L),  $D_a$  a demanda anual de água não potável (L), e D a demanda mensal (L).

d) *Método proposto*

Este método de cálculo do volume mínimo do reservatório é elaborado a partir dos métodos da Simulação e Australiano, ambos descritos na NBR 15527/2007. O volume do reservatório (T) é obtido por um processo incremental, expresso matematicamente, na iteração i, pelas seguintes equações:

$${}^tV_i = {}^{t-1}V_i + {}^tQ_i - {}^tD_i, \quad t = 1, \dots, n \tag{11}$$

$$DAm_i = \frac{\sum_{t=1}^n {}^tDA_i}{n} \tag{12}$$

Com as seguintes restrições:

$$0 \leq {}^tV_i \leq T_i \tag{13}$$

$$Confiança_i \geq \varepsilon_1 \tag{14}$$

$$e_i \geq \varepsilon_2 \tag{15}$$

$$|DAm_i - DAm_{i-1}| \leq \varepsilon_3 \tag{16}$$

$$\Delta e_i = |e_i - e_{i-1}| \leq \varepsilon_4 \tag{17}$$

A atualização do volume do reservatório é dado por:

$$T_{i+1} = T_i + \Delta T \tag{18}$$

Com relação às variáveis do modelo,  $\varepsilon_j$ , com  $j = 1, \dots, 4$ , são os valores limites,  $\Delta T$  o incremento de volume,  ${}^tQ_i$  o volume produzido pela chuva no mês  $t$ ,  ${}^tV_i$  o volume de água no reservatório no fim do mês  $t$ ,  ${}^{t-1}V_i$  o volume de água no reservatório no início do mês  $t$ ,  ${}^tD_i$  a demanda no mês  $t$ ,  $e_i$  a eficiência, e  $DAM_i$  a demanda média anual. Para a primeira iteração, considera-se o volume inicial do reservatório vazio, isto é,  $T_0 = 0$ . O volume produzido pela chuva  ${}^tQ$  ( $m^3$ ) no mês  $t$  é dado por:

$${}^tQ = {}^tV_{aprov} \tag{19}$$

Na Figura 1 é apresentado o algoritmo para a determinação do volume de reservação de água da chuva.

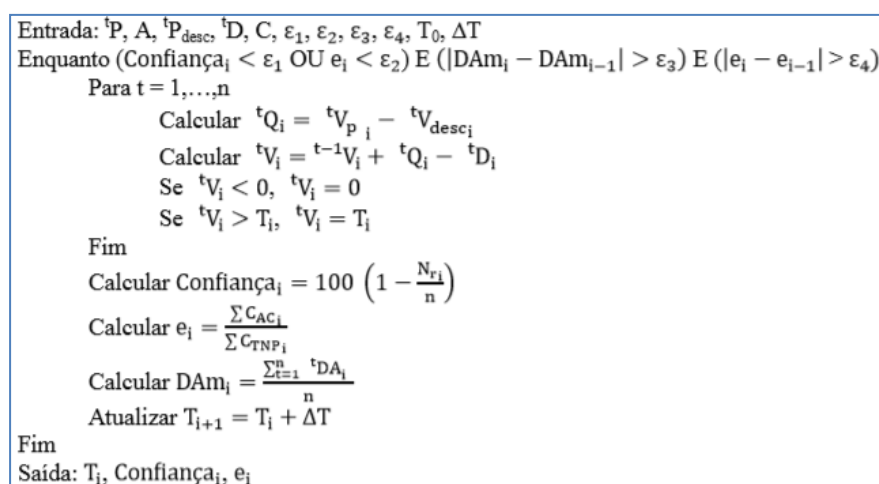


Figura 1 – Algoritmo para a determinação do volume mínimo de reservação de água pluvial.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentadas simulações com a metodologia proposta que consistem na análise do volume mínimo do reservatório de água da chuva em função da eficiência e confiança do sistema para uma residência unifamiliar. Para o dimensionamento do reservatório é fundamental o conhecimento da área de captação, da pluviometria local, do coeficiente de escoamento superficial, e do volume de água potável a ser substituído por água pluvial no edifício em que se executará o sistema. A área de captação varia com a edificação, e os dados referentes à pluviometria local podem ser obtidos por meio de estações meteorológicas da região.

Na Figura 2 são mostrados os volumes mínimos do reservatório obtidos pela metodologia proposta para as precipitações mensais mínima, média e máxima (Tabela 1), variando-se a área de captação (A) e a precipitação de descarte ( $P_{desc}$ ). Os parâmetros do modelo utilizados nas simulações foram:  $\varepsilon_1 = 100 \%$ ,  $\varepsilon_2 = 1$ ,  $\varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 10^{-15}$ ,  $T_0 = 0 m^3$ , e  $\Delta T = 0,1 m^3$ . Vê-se que para áreas menores o volume mínimo necessário ficou abaixo da demanda requerida ( $D = 4,34 m^3$ ), visto que o volume passível de aproveitamento ( $V_{aprov}$ ) depende diretamente da área de captação e da precipitação mensal (P). Dessa maneira, mesmo que o volume do reservatório fosse aumentado sem acréscimo de área, a eficiência do sistema

permaneceria inalterada (a diferença entre as eficiências nas iterações  $i$  e  $i-1$  torna-se menor do que  $\epsilon_4$  na simulação).

A evolução do volume *versus* eficiência para a simulação considerando  $A = 80 \text{ m}^2$ ,  $P_{\text{desc}} = 0 \text{ mm}$  e precipitação mínima mensal é apresentada na Figura 3. Nessa figura, observa-se que a partir do volume igual a  $3,1 \text{ m}^3$  a eficiência do sistema fica constante ( $e = 0,21$ ). Nesse caso, de acordo com o algoritmo proposto, o modelo converge no momento em que a proposição ( $\text{Confiança}_i < \epsilon_1$  OU  $e_i < \epsilon_2$ ) E  $(|DAm_i - DAm_{i-1}| > \epsilon_3)$  E  $(|e_i - e_{i-1}| > \epsilon_4)$  retorna falso (0).

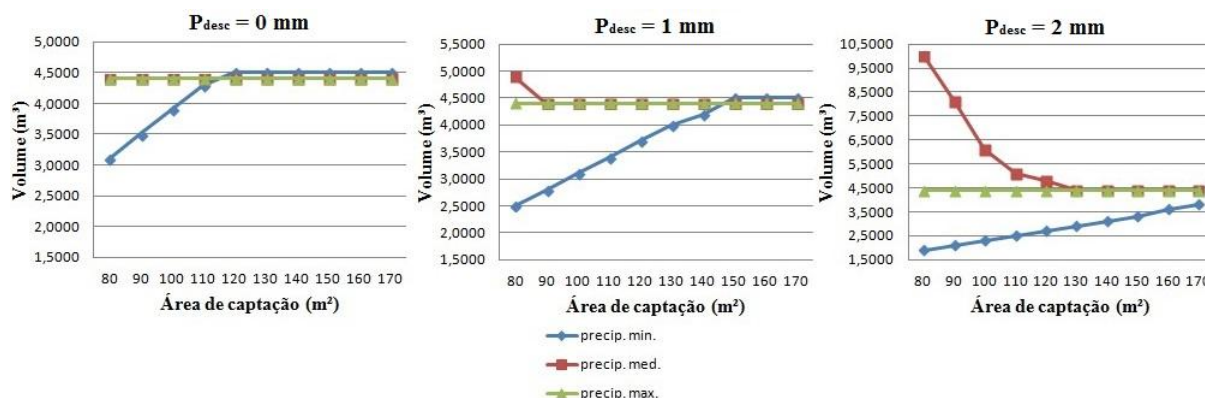


Figura 2 – Volume mínimo do reservatório para as precipitações mensais mínima, média e máxima, variando-se a área de captação e a precipitação de descarte.

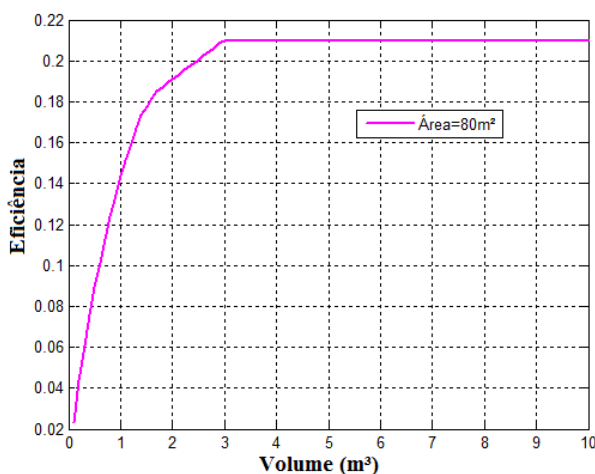


Figura 3 – Evolução do volume do reservatório *versus* eficiência para a simulação considerando  $A = 80 \text{ m}^2$ ,  $P_{\text{desc}} = 0 \text{ mm}$  e precipitação mínima mensal.

De acordo com dados da Eletrobrás, cerca de 85% das habitações no Brasil possuem áreas inferiores a  $100 \text{ m}^2$  (GHISI, 2006; MORUZZI et al., 2012). Sendo assim, na Figura 4 é mostrada uma comparação dos volumes do reservatório e das eficiências preditos pelos métodos proposto e apresentados na NBR 15527/2007 - Azevedo Neto, Inglês e Alemão, variando-se a área de captação e a precipitação de descarte. Nas simulações com os mesmos, consideraram-se as precipitações mensais médias apresentadas na Tabela 1. Os volumes mínimos preditos considerando o método proposto foram determinados supondo a eficiência máxima do sistema ( $e = 1$ ), ou seja, o sistema de aproveitamento de água pluvial atende

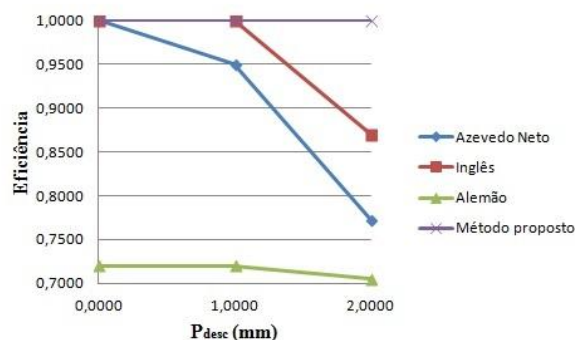
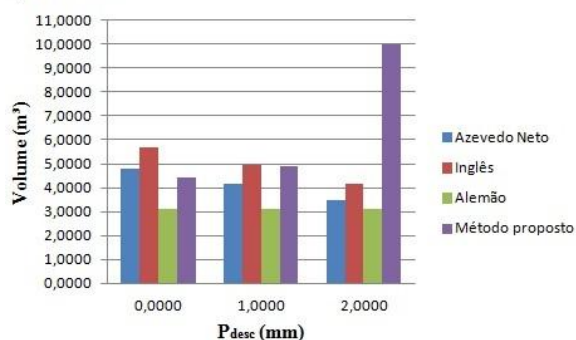
totalmente a demanda de água não potável. No que concerne aos parâmetros dos modelos, esses são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros dos métodos de dimensionamento.

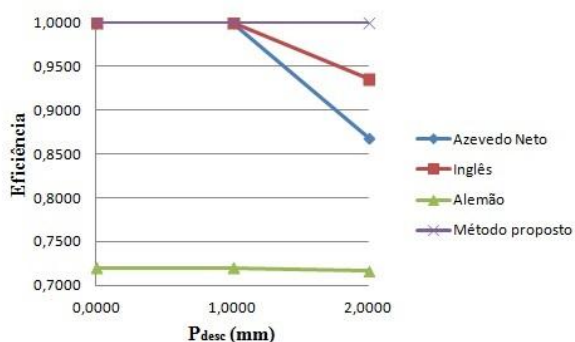
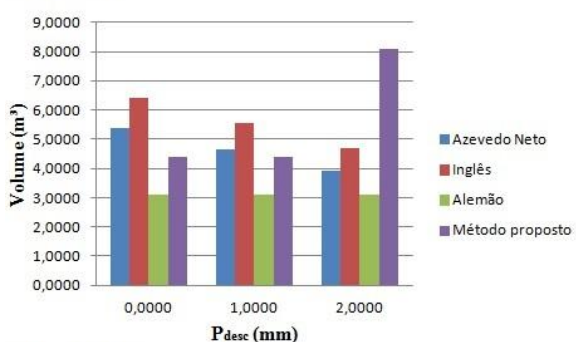
Método proposto	Azevedo Neto	Inglês	Alemão
n = 12 meses $\epsilon_1 = 100\%$ $\epsilon_2 = 1$ $\epsilon_3 = \epsilon_4 = 10^{-15}$ $T_0 = 0 \text{ m}^3$ $\Delta T = 0,1 \text{ m}^3$ $D = 4,32 \text{ m}^3$ $C = 0,8$	$P_{ma} = 1462,3 \text{ mm}$ $d_a = 192 \text{ dias}$ $R = 1^*$	$P_{ma} = 1462,3 \text{ mm}$ $d_a = 192 \text{ dias}$	$P_{ma} = 1462,3 \text{ mm}$ $d_a = 192 \text{ dias}$ $D = 4,32 \text{ m}^3$ $C = 0,8$

\*Considera-se o número de meses de pouca chuva ou seca (R) igual a 1 para comparação com os demais modelos.

a) A = 80 m<sup>2</sup>



b) A = 90 m<sup>2</sup>



c) A = 100 m<sup>2</sup>

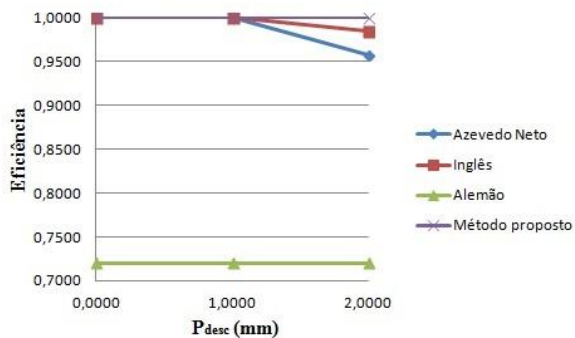
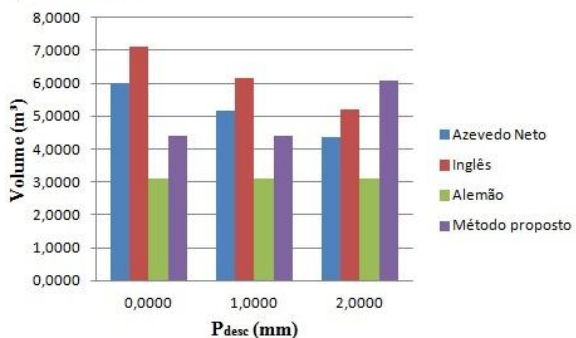


Figura 4 – Comparação dos métodos quanto ao volume do reservatório e a eficiência correspondente, variando-se a área de captação e a precipitação de descarte.



A partir dos resultados apresentados na Figura 4, os volumes mínimos obtidos pelo método proposto aumentaram (ou permaneceram constantes) com o aumento da precipitação de descarte. Também, fazendo a comparação dos métodos nos casos em que a eficiência obtida do sistema é máxima ( $e = 1$ ), observa-se que o método proposto conduziu a valores menores de reservação.

Supondo os volumes de reservatório comerciais em litros (L) – 500, 1000, 2000, 5000, 7500 e 10000, conforme WAKED et al. (2013), propõe-se na Tabela 4 volumes mínimos do reservatório de água da chuva para atender à demanda de 4,34 m<sup>3</sup> de água não potável para residência unifamiliar localizada no Município de Curitiba – PR, com áreas de captação (telhado) de 80, 90 e 100 m<sup>2</sup> e precipitação de descarte de 0, 1 e 2 mm.

Tabela 4 – Volume comercial do reservatório em função da área de captação e da precipitação de descarte, necessário para atender à demanda de 4,34 m<sup>3</sup>.

Área de captação (telhado)	Volume do reservatório de água da chuva
A = 80 m <sup>2</sup>	5000 L (P <sub>desc</sub> = 0 mm)
	5000 L (P <sub>desc</sub> = 1 mm)
	10000 L (P <sub>desc</sub> = 2 mm)
A = 90 m <sup>2</sup>	5000 L (P <sub>desc</sub> = 0 mm)
	5000 L (P <sub>desc</sub> = 1 mm)
	10000 L (P <sub>desc</sub> = 2 mm)
A = 100 m <sup>2</sup>	5000 L (P <sub>desc</sub> = 0 mm)
	5000 L (P <sub>desc</sub> = 1 mm)
	7500 L (P <sub>desc</sub> = 2 mm)

Na Figura 5 aparecem os valores mínimos do reservatório de água da chuva variando-se a demanda, bem como os valores da eficiência e da confiança correspondentes, obtidos com o modelo proposto. As variáveis utilizadas na simulação foram: A = 100 m<sup>2</sup>, P<sub>desc</sub> = 2 mm, precipitação média mensal,  $\epsilon_1 = 100\%$ ,  $\epsilon_2 = 1$ ,  $\epsilon_3 = \epsilon_4 = 10^{-15}$ , T<sub>0</sub> = 0 m<sup>3</sup>, e  $\Delta T = 0,1$  m<sup>3</sup>.

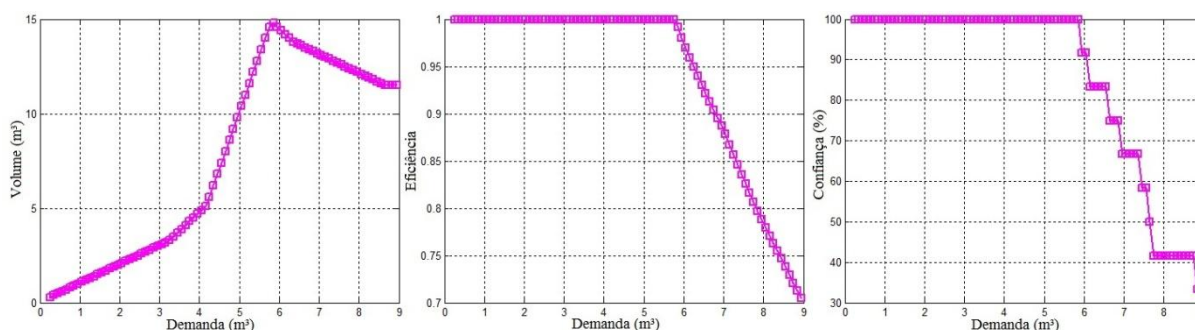


Figura 5 – Volume mínimo do reservatório, eficiência e confiança do sistema obtidos com o método proposto variando-se a demanda.

Procedendo a análise da Figura 5, vê-se que até o volume igual a 14,6 m<sup>3</sup> e a demanda correspondente igual a 5,75 m<sup>3</sup>, o sistema de aproveitamento de água da chuva atende

totalmente ao consumo de água não potável ( $e = 1$  e Confiança = 100 %), não havendo necessidade de abastecimento por outra fonte. No entanto, para valores da demanda acima de  $5,75 \text{ m}^3$  o consumo de água não potável pelo sistema é atendido parcialmente ( $e < 1$  e Confiança  $< 100$  %). Em adição, para valores de demanda superiores a  $5,75 \text{ m}^3$ , observa-se que o sistema não consegue captar volume de água da chuva suficiente para suprir a demanda (chegou-se ao volume aproveitável limite de água da chuva), justificando a diminuição do volume mínimo de reservação a partir desse valor e, conseqüentemente, da eficiência e confiança.

#### **4. CONCLUSÕES**

Diante dos resultados de dimensionamento mostrados, é evidente a importância de se conhecer os dados de entrada para alimentar o modelo de forma precisa, fazendo com que o mesmo resulte em volumes de reservação confiáveis sem serem subdimensionados ou superdimensionados. A metodologia proposta apresenta como característica exigir informações de obtenção relativamente simples, como por exemplo: precipitação mensal, número de dias com chuva em cada mês, número total de meses, área de captação, coeficiente de escoamento superficial, precipitação de descarte da primeira chuva, eficiência e confiança do sistema.

As simulações mostraram que a capacidade do sistema em captar a água da chuva determina o atendimento total ou parcial da demanda para fins não potáveis, uma vez que o volume aproveitável depende diretamente da área de captação e da disponibilidade hídrica (regime de chuvas) do local. O aumento do volume do reservatório (superdimensionamento) não garante a melhoria da eficiência e da confiança do sistema, conforme verificado na Figura 3 para o caso analisado.

Também, faz-se uma proposta quanto ao volume comercial do reservatório de água da chuva necessário para atender à demanda de  $4,34 \text{ m}^3$  (utilização em descarga de bacia sanitária, lavagem de carro e irrigação de gramado ou jardim) para uma residência unifamiliar localizada no Município de Curitiba – PR, variando a área de captação ( $80, 90$  e  $100 \text{ m}^2$ ) e a precipitação de descarte ( $0, 1$  e  $2 \text{ mm}$ ). Evidentemente, o atendimento total ou parcial da demanda dependerá da precipitação mensal, podendo na época de estiagem haver necessidade de complementar o abastecimento de água não potável com outra fonte.

A metodologia proposta pode ser empregada nos casos em que se deseja analisar detalhadamente a variação do volume do reservatório ao longo dos meses (dias ou anos). Por meio de sua aplicação podem ser analisados vários volumes de reservatórios simultaneamente com suas respectivas eficiências e confianças. Assim, pode-se realizar a simulação dos volumes de reservatórios até que se chegue à eficiência ou confiança desejada para o sistema, em função dos interesses do proprietário. Em geral, os parâmetros eficiência e confiança são adotados em função da destinação final que se dará à água não potável armazenada e também de acordo com interesses econômicos.

Como sugestão de pesquisa futura, podem-se acrescentar mais restrições ao modelo e outras leis de evolução para o volume do reservatório no processo incremental. Simulações podem ser efetuadas para outras tipologias de edificações (condomínios, indústrias, etc.), além da consideração de dados diários de precipitação e de um critério financeiro relacionado ao custo de implantação do sistema e ao benefício gerado pela diminuição do consumo de água tratada.

Ademais, a implementação computacional de modelos de dimensionamento de reservatório constitui-se uma ferramenta de suporte à decisão quanto ao volume mínimo a ser adotado, visto que é possível se fazer um estudo de sensibilidade das variáveis de entrada do modelo (demanda, área de captação, volume de descarte da primeira chuva, precipitação, entre outras), bem como a verificação rápida de resultados.

## 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.

**AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A.** *Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial.* *Ambiente Construído, Porto Alegre*, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

**DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J. A.; TASSI, R.** *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, 2012.

**GHSI, E.** Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, v. 41, p.1544–1550, Elsevier, 2006.

**GOMES, J.; WEBER, D. C.; DELONG, C. M.** *Dimensionamento de Reservatórios de Armazenamento de Águas Pluviais, usando um Critério Financeiro.* *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, n.1, p. 89-100, 2010.

**MAY, S.** *Estudo de aproveitamento de águas pluviais para consumo não potável em edificações.* 2004. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. SP, 2004.*

**MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C.** *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, p. 36 – 48, 2010.

**MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C.; CARVALHO, G. S.** *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, 2008.

**MORUZZI, R. B.; CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C.** *Procedimentos para o dimensionamento de reservatório de água pluvial para residências unifamiliares: viabilidade e aprimoramento metodológico.* *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n.19, p.89-99, 2012.

**TOMAZ, P.** *Previsão de consumo de água.* Navegar Editora, São Paulo, 2000.

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

**WAKED, A. H. W.; FRIGO, E. P.; HERMES, E.; POSSAN, E.; FRIGO, J. P.; FRIGO, J. P.** *Simulação de um sistema de armazenamento de água da chuva.* *Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, v. 10, n. 1, p. 035-042, 2013.