

# COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DOS RESERVATÓRIOS DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA NO MUNICÍPIO DE LAGES, SC.

OLÍVIO JOSÉ SOCCOL<sup>1</sup>; WAGNER WOLFF<sup>2</sup>; CÉLIO ORLI CARDOSO<sup>1</sup>; CARLOS AUGUSTO DE PAIVA SAMPAIO<sup>1</sup>; ILDEGARDES BERTOL<sup>3</sup>.

1 Prof. Dr., DEAGRO/CAV/UDESC, Av. Luiz de Camões, 2090 – Lages/SC, 88.520-000, Tel. (49) 2101 9100, [soccol@cav.udesc.br](mailto:soccol@cav.udesc.br)

2 Eng. Florestal, Mestrando LEB/ESALQ/USP, Av. Pádua Dias, 11 – Piracicaba/SP, 13.418-900, Tel. (19) 3429 4100.

3 Prof. Dr., DESRN/CAV/UDESC, Av. Luiz de Camões, 2090 – Lages/SC, 88.520-000, Tel. (49) 2101 9100.

**RESUMO:** Nos últimos anos o aproveitamento da água da chuva vem se tornando uma importante fonte alternativa de água, contribuindo com a redução do consumo de água potável nas residências, edificações públicas e industriais. Visou-se, neste trabalho, comparar os diferentes métodos de dimensionamento dos reservatórios, conforme a norma ABNT NBR 15527 e os métodos dos dias sem água e de Fendrich, elegendo-se como referência a demanda de água não potável nos aparelhos sanitários de uma edificação residencial no município de Lages, SC. Os dados hidrológicos utilizados constituíram-se de uma série de 76 anos de precipitações diárias e mensais do município. A partir dos resultados obtidos na simulação verificou-se que dos sete métodos utilizados na comparação, quatro forneceram volumes de reservatórios semelhantes e três, resultados divergentes. Conclui-se, que a escolha do método de dimensionamento do reservatório deva ser criteriosa, levando-se em consideração a disponibilidade de dados hidrológicos e o objetivo a que se destina.

**PALAVRAS-CHAVE:** água de chuva, consumo de água, captação de água.

## COMPARISON OF METHODS USED IN DETERMINING THE CAPACITY OF RESERVOIRS OF SYSTEMS OF EXPLOITATION OF RAINWATER in LAGES, SC.

**ABSTRACT:** : In recent years the use of rain water is becoming an important alternative source of water, wich influences in reducing the drinking water consumption in homes, public buildings and industrial facilities. Objective, in this study was to compare the different methods of sizing of reservoirs, according to standard ABNT NBR 15527, choosing as reference the demand for non-potable water in sanitary appliances of a residential building in the city of Lages, SC. The hydrological data used consisted of a series of 74 years of daily precipitation in the city. From the simulation results it showed into the five recommended methods, three have similar volumes of reservoir and two different results. it is concluded that the choice of sizing method of the reservoir should be care

**KEYWORDS:** rainwater, water consumption, water abstraction.

## INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a vida dos seres vivos, sendo que o ser humano necessita de forma direta e indireta diariamente. Além da água ser essencial para o surgimento e manutenção da vida em nosso planeta, na vida moderna, é indispensável para o desenvolvimento das diversas atividades criadas pelo ser humano, apresentando por essa razão, valores econômicos, sociais e culturais (Beekman, 1997).

Embora exista em grande quantidade, a maior parte encontra-se nos oceanos e somente pequena parcela desta água no mundo é doce. Mesmo assim, somente pequeno percentual dessa água doce se encontra na natureza de forma adequada para utilização do ser humano (Uniágua, 2006).

Além da disponibilidade restrita, aliada ao mau uso e à crescente demanda a população e a expansão urbana, vêm crescendo num ritmo acelerado. Segundo dados da Organização das Nações Unidas, a população vem crescendo a uma taxa de 77 milhões de pessoas por ano e ultrapassará os 9 bilhões até o ano de 2050, que corresponderá a um incremento de 50% da população mundial. Em 2025, dois terços da população mundial viverá em centros urbanos (UNEP, 2007). Com isso os recursos hídricos sofrerão ainda mais reduções intensivas e gradativas de qualidade e disponibilidade num futuro próximo. Ficará difícil para as cidades suprirem a demanda da população em relação ao uso de água potável.

Estudos realizados em vários países do mundo apontam que o consumo de água tratada para fins não potáveis em residências varia de 30 a 50% e que, portanto, esse porcentual poderia ser substituído por água de chuva (SABESP, 2009). Sendo assim, seria possível apontar o aproveitamento de água de chuva

como forma de mitigação dos problemas de abastecimento e drenagem urbana, pois diminuiria a demanda de água tratada e seria uma medida não estrutural para controle de enchentes.

Santos (2002) comenta que a conservação da água constitui um conjunto de ações que propiciam a economia de água, seja nos mananciais, no sistema público de abastecimento de água, ou nas habitações. O autor destaca que a conservação da água se apresenta como um grande desafio para a humanidade, haja vista a necessidade em atender a demanda, através da universalização do acesso associada ao risco de escassez deste recurso natural.

Para Kalbush (2009), o uso racional insere-se no conceito de desenvolvimento sustentável como uma ferramenta de gestão com objetivo da redução do consumo e da preservação da água. Assim sendo, os aspectos comportamentais que envolvem o uso racional estão relacionados aos hábitos pessoais não apenas de consumo de água, mas também de uso de aparelhos e equipamentos hidro-sanitários. Portanto, por meio de ações de sensibilização dos usuários é que será possível a transformação deste cenário.

Segundo Fendrich (2002), as bacias de retenção podem ser concentradas, aquelas constituídas por reservatórios de armazenamento temporário das águas pluviais, de grandes dimensões, localizados em área pública, com o objetivo de controlar o escoamento da macrodrenagem. Ou ainda distribuídas, aquelas compostas por reservatórios de armazenamento das águas pluviais, de pequenas dimensões, localizados nos lotes, com objetivo de controlar o escoamento da microdrenagem. Dentre as principais ações que caracterizam a retenção distribuída estão, a ampliação das áreas de infiltração e percolação e a criação de sistemas de armazenamento temporário em edificações ou telhados. Quanto aos telhados, caracterizam-se por sistemas complexos, principalmente em função da manutenção e da necessidade de reforço nas estruturas.

Em se tratando do aproveitamento da água de chuva, inúmeros estudos destacam a eficiência do emprego desta fonte alternativa de água, sobretudo sob os aspectos, econômicos, sociais e ambientais. As referências históricas, desta forma de abastecimento, se reportam ao uso da água de chuva por civilizações antigas como, Astecas, Maias, Incas, entre outras. Segundo Giacchini (2010), no Brasil, os principais relatos do aproveitamento da água de chuva datam de 1943 e se estendem até os dias de hoje, na Ilha de Fernando de Noronha. Por sua vez, outras experiências registradas se reportam ao semi-árido brasileiro, onde o uso da água de chuva passou a incorporar programas de ação socioambiental desenvolvidos por instituições governamentais e não governamentais. Entretanto, no contexto atual de uso racional dos recursos hídricos, as práticas de aproveitamento da água de chuva estão sendo incorporadas aos sistemas de gestão urbana de diversos países. Portanto, não se trata de inserir um novo conceito de gestão de recursos hídricos, apenas resgatar os fundamentos deste e adaptá-lo à realidade atual (Aladenola e Adeboye, 2009). Neste aspecto, contribuições relevantes têm sido dadas por Ghisi e Ferreira (2007), com trabalho conduzido na cidade de Florianópolis – SC, com objetivo de estimar os usos finais da água em um condomínio residencial composto por três blocos de apartamentos. Tal estudo revelou que a percentagem de água potável, que poderia ser substituída por água da chuva variou de 39,2% a 42,7%, representando um percentual considerável de economia no condomínio.

A composição de um sistema de aproveitamento da água de chuva consiste basicamente na área de captação, em geral a cobertura da edificação, nos equipamentos de transporte representados pelas calhas e condutores verticais e no reservatório para armazenamento das águas pluviais (Giacchini, 2010).

A NBR 15527/07 trata exclusivamente do aproveitamento de coberturas, ou seja, à área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde será coletada a água de chuva. Com referência aos equipamentos de coleta e condução da água de chuva, estabelece que as calhas e condutores horizontais e verticais devem atender à ABNT NBR 10844. Ainda devem ser instalados dispositivos para remoção de detritos e um dispositivo de descarte inicial da água de chuva. A mesma Norma apresenta ainda, em seu Anexo A, métodos de cálculo para o dimensionamento de reservatórios.

O reservatório de um sistema de aproveitamento da água de chuva não pode permanecer ocioso por longos períodos de tempo, assim como, não pode provocar o desperdício da água de chuva em detrimento ao atendimento ao consumo (Amorim e Pereira, 2008). Para os autores, é fundamental a identificação de fatores como: a área de captação, os dados pluviométricos locais e o coeficiente de aproveitamento da água pluvial, além da demanda de água potável que pode ser substituída por água de chuva.

Segundo Rocha (2009), a regularidade e distribuição das chuvas influenciam significativamente no dimensionamento do reservatório. Muitos métodos de dimensionamento de reservatório levam em consideração a duração dos períodos chuvosos e secos, bem como, a série histórica das precipitações pluviométricas.

O trabalho teve como objetivo comparar sete diferentes métodos de determinação do volume do reservatório de acumulação de água da chuva. Também, foram utilizados valores de chuva mensal provável de ocorrer aos níveis de probabilidade de 75 e 80%, em comparação com a precipitação média, com o objetivo de verificar a influência dos mesmos na determinação da capacidade dos reservatórios.

## METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido para o município de Lages, SC, situado a 27°49' de latitude Sul e 50°12' de longitude Oeste, a 937 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, mesotérmico úmido, constantemente úmido com verão brando.

Para a estimativa da demanda de água não potável, foi adotado como referência uma residência unifamiliar, com área de captação de 100 m<sup>2</sup> e habitada por quatro pessoas. Conforme recomendação de Giacchini (2010) considerou-se que o aproveitamento da água de chuva tem como objetivo o abastecimento de uma bacia sanitária com caixa acoplada e capacidade de 6 litros. Para a caracterização da demanda, considerou-se cinco acionamentos por habitante por dia (Tomaz, 2003). A demanda, para as condições estabelecidas, é de 120 L/dia e 3,6 m<sup>3</sup>/mês de água. Considerou-se o coeficiente de escoamento superficial igual a 90%.

Os dados de chuva utilizados no trabalho foram obtidos junto ao Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia da Santa Catarina – CIRAM, correspondendo a dados de precipitação pluvial coletados na Estação Meteorológica de Lages, SC. As Séries analisadas compreenderam: 1) observações pluviométricas mensais, abrangendo o período de 1925 a 2005; 2) observações pluviométricas diárias, abrangendo o mesmo período das observações mensais. Soccol et al. (2010) observaram que a precipitação média mensal para a região ocorre com probabilidade média de 35%, resultando no cálculo superestimado do volume do reservatório, quanto ao uso destas chuvas. Assim, foram utilizados, além dos valores médios de precipitação mensal, valores correspondentes as probabilidades de 75% e 80%, ou seja, considerou-se que a cada 4 e 5 anos, em um desses anos não haveria chuva suficiente para completar o volume do reservatório, respectivamente.

Conforme a NBR 15527, estabelece os requisitos para aproveitamento da água da chuva de coberturas urbanas para fins não potáveis, em que as águas da chuva podem ser utilizadas, após tratamento adequado, para descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de pátios e espelhos d'água e usos industriais. Segundo a mesma norma, o volume de água anual, mensal ou diário, aproveitável, depende da precipitação média anual, mensal ou diária, da área de captação, do coeficiente de escoamento superficial da área de captação e, de um fator de captação, que leva em conta a eficiência do sistema de captação, considerando os dispositivos de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado. O volume pode ser calculado pela equação 1.

$$Vo_{ap} = P.A.C.\eta \quad (1)$$

em que,

$Vo_{ap}$  – volume anual, mensal ou diário de água aproveitável (m<sup>3</sup>);

P - precipitação média anual, mensal ou diária (m);

A – área de captação ou coleta (m<sup>2</sup>);

C - coeficiente de escoamento superficial da cobertura (adimensional);

$\eta$  – fator de captação (adimensional).

Segundo a NBR 15527/2007, o volume dos reservatórios ( $Vo_{res}$ ), deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais, levando-se em conta as boas práticas da engenharia, podendo, a critério do projetista, ser utilizados métodos contidos no Anexo A, ou outro, desde que devidamente justificados.

Os métodos de determinação do volume dos reservatórios ( $Vo_{res}$ ) utilizados neste trabalho, para fins de comparação, foram: Método da Simulação, Método Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês, Método Prático Australiano, apresentados no Anexo A da NBR 15527/2007, bem como, o Método dos Dias Sem Chuva e Método de Fendrich (2002). Na sequência são apresentados os métodos utilizados no estudo.

**Método da Simulação:** neste método a evaporação não deve ser levada em conta. Para o cálculo de um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito:

$$Vo_{arm(t)} = Vo_{ef(t)} + Vo_{arm(t-1)} - D_{(t)} \quad (2)$$

em que,

$Vo_{arm(t)}$  – volume de água armazenado no reservatório no tempo t (m<sup>3</sup>);

$Vo_{ef}$  – volume de chuva no tempo t (m<sup>3</sup>), dado por:  $Vo_{ef} = C.P_{(t)}.A$ ;

Para que  $0 \leq Vo_{arm(t)} \leq Vo_{res}$

$Vo_{res(t-1)}$  – volume de água no reservatório no tempo t-1 (m<sup>3</sup>);

$D_{(t)}$  – demanda ou consume de água no tempo t (m<sup>3</sup>);

$Vo_{res}$  – volume do reservatório fixado ( $m^3$ );  
C – coeficiente de escoamento superficial (adimensional);  
P – precipitação no tempo t (m);  
A - área de captação ou coleta ( $m^2$ );

Para a aplicação do método se faz necessário o estabelecimento de duas hipóteses: o reservatório está cheio no início da contagem do tempo t e, os dados históricos são representativos das condições futuras.

**Método Azevedo Neto:** neste método o volume de chuva é obtido pela seguinte expressão:

$$Vo_{ap} = Vo_{res} = 0,042.P.A.T \quad (3)$$

em que,

$Vo_{ap}$  = volume de água aproveitável (L);  
 $Vo_{res}$  – volume do reservatório fixado (L);  
P – precipitação no tempo (mm);  
A - área de captação ou coleta ( $m^2$ );  
T – número de meses com pouca chuva ou de seca (adimensional).

**Método Prático Alemão:** consiste de um método empírico em que, se toma o menor valor do volume do reservatório; 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável. Ou seja, o volume do reservatório a ser adotado é igual a 6% do mínimo do volume anual aproveitável ou a demanda ou consumo anual.

$$Vo_{res} = \text{mín}(Vo_{ap} \text{ ou } D).0,06 \quad (4)$$

em que,

$Vo_{res}$  – volume do reservatório fixado (L);  
 $Vo_{ap}$  – volume anual de água aproveitável (L);  
D – demanda ou consumo de água anual não potável (L);

**Método Prático Inglês:** o volume de chuva é obtido pela seguinte expressão:

$$Vo_{ap} = Vo_{res} = 0,05.P.A \quad (5)$$

em que,

$Vo_{res}$  – volume do reservatório fixado (L);  
 $Vo_{ap}$  – volume anual de água aproveitável (L);  
P – precipitação média anual (mm);  
A - área de captação ou coleta ( $m^2$ );

**Método Prático Australiano:** o volume de chuva é obtido pela seguinte expressão:

$$Vo_{ap} = A.C.(P - I) \quad (6)$$

em que,

$Vo_{ap}$  – volume mensal de água aproveitável ( $m^3$ );  
A - área de captação ou coleta ( $m^2$ );  
C – coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80 (adimensional);  
P – precipitação média mensal (m);  
I – interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação geralmente 2 mm (m).

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.

$$Vo_{(t)} = Vo_{(t-1)} + Vo_{ap(t)} - D_{(t)} \quad (7)$$

em que,

$Vo_{(t)}$  – volume de água no reservatório no fim do mês t ( $m^3$ );  
 $Vo_{(t-1)}$  – volume de água no reservatório no início do mês t ( $m^3$ );  
 $Vo_{ap}$  – volume mensal de água aproveitável ( $m^3$ );  
 $D_{(t)}$  – demanda ou consumo de água mensal não potável ( $m^3$ ).

Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio. Quando  $(Vo_{(t-1)} + Vo_{(t)} - D_{(t)}) < 0$ , então o  $Vo_{(t)} = 0$ . Para o cálculo da confiança em se obter o volume do reservatório utiliza-se a expressão:

$$Fa = \frac{Nr}{N} \quad (8)$$

em que,

Fa – falha, adimensional;

Nr – número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda ( $Vo_{(t)} = 0$ );

N – número de meses considerado, normalmente 12 meses.

$$\text{Confiança (\%)} = (1 - Fa).100$$

Recomenda-se que os valores de confiança estejam compreendidos entre 90 e 99%.

**Método dos Dias sem Chuva:** este método fundamenta-se no conceito da seca máxima do ano, considerando as demandas não potáveis de água da chuva. A base de cálculo para o dimensionamento do reservatório é o período de estiagem, ou seja, o número de dias consecutivos sem chuva. Compreende a análise dos dados pluviométricos diários para o local de interesse do estudo. Identifica-se, para cada mês do ano da série sob análise, a maior sequência de dias sem chuva, determina-se as médias mensais e, a partir destas, as médias anuais dos máximos dias sem chuva – MDS. A partir destes dados, determina-se o volume do reservatório por meio da expressão:

$$Vo_{res} = D.MDS \quad (9)$$

em que,

$Vo_{res}$  – volume do reservatório (L);

D – demanda ou consume de água anual não potável (L);

MDS – máximos dias sem chuva (dia).

**Método de Fendrich (2002):** método proposto é baseado no estudo sobre a aplicabilidade da coleta, utilização e detenção das águas pluviais na Bacia Hidrográfica Urbana do Rio Belém localizada no Município de Curitiba, PR. O trabalho foi contextualizado no princípio da detenção distribuída das águas pluviais objetivando o controle de enchentes urbanas. Segundo Fendrich (2002), a determinação do volume dos reservatórios de detenção distribuída das águas pluviais, para o Município de Curitiba, PR, pode ser determinado pela expressão:

$$Vo_{res} = Cr.A \quad (10)$$

em que,

$Vo_{res}$  – volume do reservatório ( $m^3$ );

Cr – coeficiente de escoamento superficial regional de Curitiba, PR (20,5 mm/ $m^2$ );

A - área de captação ou coleta ( $m^2$ );

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da situação de referência admitida para a definição da demanda de água não potável, descrita na metodologia, em que ficou estabelecida a demanda (D) de 3,60  $m^3$ /mês, procedeu-se o cálculo do volume do reservatório ( $Vo_{res}$ ), por meio dos diferentes métodos propostos.

**Método dos Dias sem Chuva:** como descrito na Metodologia, a determinação da capacidade do reservatório utilizando-se deste método, baseia-se na relação entre a demanda diária e o número máximo de dias sem chuva. A partir da série histórica de precipitações diárias, identificou-se o número máximo de dias sem chuva de cada mês do ano, para todos os anos da série. Na sequência foi calculada a média mensal do número máximo de dias sem chuva, que estão apresentados na Figura 1. Mediante análise do gráfico verificamos que o valor médio máximo ocorre no mês de agosto, correspondendo a 8,85 dias sem chuva. Assim, por meio da aplicação da equação (9) temos:

$$Vo_{res} = 0,12_{(m^3/dia)} \cdot 8,85_{(dias)} = 1,062_{(m^3)}$$

$$Vo_{res} = 1,062 m^3$$

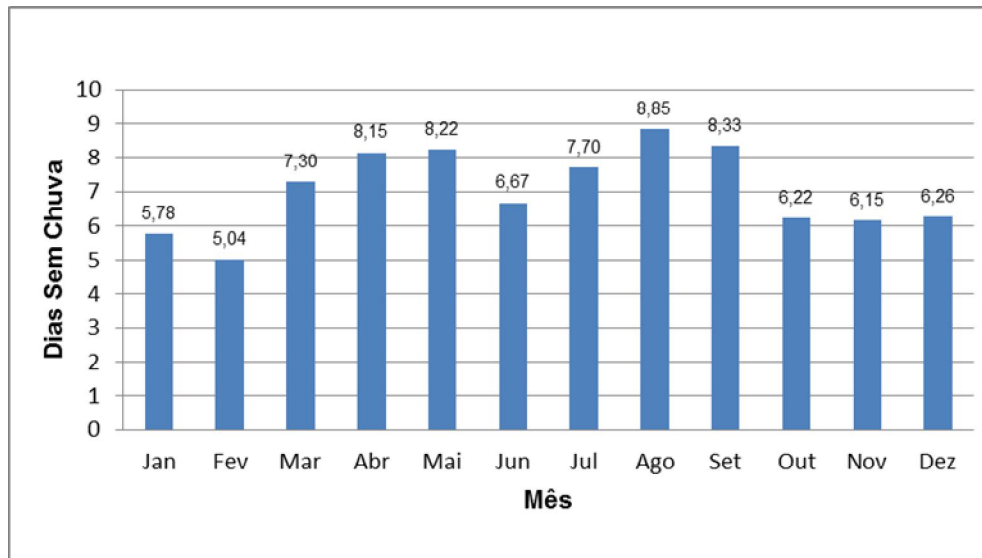


Figura 1. Gráfico mostrando a média mensal do número máximo de dias sem chuva.

**Método de Fendrich:** fundamenta-se no estudo da permeabilidade artificial do solo e estabelecimento de um coeficiente de escoamento superficial regional para o Município de Curitiba, PR. Para as condições estabelecidas no trabalho, o volume do reservatório é calculado com a equação (10):

$$Vo_{res} = 0,0205_{(m)} \cdot 100_{(m^2)} = 2,05 \text{ m}^3$$

$$Vo_{res} = 2,05 \text{ m}^3$$

**Método Azevedo Neto:** também se fundamenta na análise dos dados estatísticos, correspondentes ao período sem chuva ou de pouca chuva na região. Segundo o autor, o período crítico, em geral, é superior a trinta dias, podendo ser superior a sessenta dias em regiões em que o regime das chuvas é irregular ou baixo. A região de Lages caracteriza-se por um regime pluviométrico regular e bem distribuído. Para a série histórica de chuvas utilizada no presente trabalho, não foi verificado em nenhum dos anos, algum mês com sem ocorrência de chuva. A partir da caracterização do número máximo de dias sem chuva. Conforme metodologia adotada por Giacchini (2010), determinou-se a fração (T), adotando-se MDS de 8,85 dias e o número médio de dias de um mês correspondente a 30 dias, portanto,  $T = 0,295$ . A partir do estudo estatístico das chuvas mensais para a região de Lages, apresentados nas Figuras 2 e 3, foi estabelecido o valor da precipitação média anual (1.509,20 mm), e os valores de precipitação anual para as probabilidades de 75% (735,30 mm) e 80% (632,80 mm). O volume do reservatório foi calculado para as três condições estabelecidas, utilizando a Equação (3):

$$Vo_{res} = 0,042 \cdot 1,5092 \cdot 100 \cdot 0,295 = 1,87 \text{ m}^3$$

$$Vo_{res} = 1,87 \text{ m}^3 \text{ , para a precipitação média}$$

$$Vo_{res} = 0,042 \cdot 0,7353 \cdot 100 \cdot 0,295 = 0,911 \text{ m}^3$$

$$Vo_{res} = 0,911 \text{ m}^3 \text{ , para a precipitação com probabilidade de 75\%}$$

$$Vo_{res} = 0,042 \cdot 0,6328 \cdot 100 \cdot 0,295 = 0,784 \text{ m}^3$$

$$Vo_{res} = 0,784 \text{ m}^3 \text{ , para a precipitação com probabilidade de 80\%}$$

Tabela 1. Média mensal, desvio padrão, máximo, mínimo, assimetria e curtose da precipitação mensal para o município de Lages, SC, no período de 1925 a 2005 (Soccol et al., 2010).

Mês	Média (mm)	Desvio Padrão (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
Janeiro	154,8	74,084	446,1	7,6
Fevereiro	141,4	70,703	361,9	0,1
Março	112,9	51,831	236,3	25,4
Abril	103,5	59,483	285,6	5,9
Mai	106,7	72,533	356,2	9,1
Junho	108,3	58,029	232,4	2,4
Julho	109,5	61,301	396,6	23,4
Agosto	122,5	73,212	330,1	1,1
Setembro	142,9	74,560	314,9	9,8
Outubro	162,7	81,739	376,1	0,1
Novembro	115,2	68,099	320,2	0,1
Dezembro	128,8	68,202	340,5	0,1

Tabela 2. Precipitação mensal  $P(X > x)$  em mm provável para o município de Lages, SC, para os diferentes níveis de probabilidade, estimados pela função gama incompleta (Soccol et al., 2010).

%	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
95	53,0	35,1	41,4	22,8	19,4	26,5	34,3	24,6	40,4	39,6	23,3	19,2
90	67,7	48,4	51,9	32,4	28,8	36,6	44,7	35,7	53,9	54,8	33,7	30,0
80	79,0	59,2	60,1	40,6	36,9	44,9	52,9	45,0	64,8	67,3	42,5	39,6
75	88,9	68,9	67,2	47,6	44,4	52,4	60,1	53,6	74,5	78,5	50,6	48,6
70	98,2	78,2	73,7	54,5	51,7	59,5	66,9	61,9	83,6	89,2	58,4	57,5
60	107,0	87,3	79,9	61,3	58,9	66,5	73,4	70,1	92,3	99,7	66,1	66,4
50	124,3	105,4	92,1	74,9	73,8	80,4	86,2	86,7	109,8	120,6	81,7	84,9
40	142,1	124,4	104,6	89,6	89,8	95,1	99,4	104,6	127,9	142,7	98,4	105,3
30	161,5	145,7	118,1	105,9	107,9	111,5	114,0	124,7	148,1	167,5	117,3	128,6
25	184,1	171,1	133,8	125,6	130,0	131,0	131,1	148,9	171,8	196,9	140,1	157,2
20	197,6	186,3	143,0	137,5	143,4	142,8	141,3	163,7	185,9	214,6	153,8	174,7
15	213,2	204,2	153,8	151,5	159,3	156,6	153,2	181,1	202,6	235,4	170,2	195,7
10	258,2	256,6	184,7	192,7	206,6	197,1	187,5	232,6	250,9	296,5	218,3	258,2
5	299,5	305,7	213,0	231,6	251,6	235,2	219,3	281,4	295,9	353,8	264,0	318,4

**Método Prático Inglês:** a determinação do volume do reservatório consiste na aplicação direta dos dados da equação proposta, ou seja, a área de captação e a precipitação média anual. Para a aplicação do Método Prático Inglês, à semelhança do Método Azevedo Neto, foram consideradas as precipitações totais com probabilidade de 75 e 80% de serem superadas. Considera que o período sem precipitação, é correspondente a um mês, o que superestima o volume do reservatório. O cálculo do volume do reservatório foi realizado utilizando-se a equação (5):

$$Vo_{res} = 0,05.1,5092.100 = 7,55 \text{ m}^3$$

$$Vo_{res} = 7,55 \text{ m}^3, \text{ para a precipitação média}$$

$$Vo_{res} = 0,05.0,7353.100 = 3,68 \text{ m}^3$$

$$Vo_{res} = 3,68 \text{ m}^3, \text{ para a precipitação com probabilidade de 75\%}$$

$$Vo_{res} = 0,05.0,6328.100 = 3,16 \text{ m}^3$$

$$Vo_{res} = 3,16 \text{ m}^3, \text{ para a precipitação com probabilidade de 80\%}$$

**Método Prático Alemão:** o volume do reservatório é determinado por meio da relação entre a demanda anual de água e o volume aproveitável de chuva, adotando-se 6% do menor valor entre os dois considerados. Por meio da aplicação da equação (4) e, considerando que o menor volume será definido pela demanda ( $D = 43,2 \text{ m}^3$ ), em detrimento da chuva média anual, ou mesmo, das chuvas para as probabilidades de 75 e 80%, o volume do reservatório é:

$$Vo_{res} = 43,2 \cdot 0,06 = 2,59 \text{ m}^3$$

$$Vo_{res} = 2,59 \text{ m}^3$$

**Método Prático Australiano:** para a aplicação do método, considerou-se o volume fixado como sendo àquele resultante da média dos volumes obtidos na aplicação dos métodos do Máximo de Dias sem Chuva, de Fendrich, Prático Alemão, Azevedo Neto e Prático Inglês. Neste trabalho, o valor encontrado foi igual a 3,27, 2,06 e 1,90  $\text{m}^3$  para a precipitação média mensal, provável a 75 e 80% de probabilidade, respectivamente. Pela análise dos resultados apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5, pode-se observar que os volumes  $Vo_{fix}$ ,  $Vo_{t-1}$  e  $Vo_t$  são iguais, portanto, o volume do reservatório é definido pelo próprio volume fixado ( $Vo_{res} = Vo_{fix}$ ). Comparando os volumes de reservatórios, obtidos para os três valores de precipitação mensal (média e provável a 75% e 80%) verifica-se que o volume de reservatório diminui, o que implica em diminuição de custos com a instalação e, também, diminuição do volume excedente. Destaca-se que, para a precipitação provável de 80% a confiabilidade é de 83%, ou seja, corre-se o risco de 17% de falha no sistema de captação. Neste caso há, portanto, a necessidade de complementação do volume com fonte externa, para os meses de maio e dezembro, mas o nível de probabilidade de ocorrer uma chuva maior ou igual àquela considerada é bem superior ao da chuva média, ou seja, a cada 5 anos em 1 ano, não ocorreria precipitação igual ou superior.

Tabela 3. Resultados do método prático Australiano para os dados de precipitação média mensal, com 100% de confiança ( $Vo_{res} = 3,27 \text{ m}^3$ ).

Mês	P <sub>(mm)</sub>	D <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	Vo <sub>ap</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>fix</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t-1</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	ΔVo
Jan	154,8	3,6	100	13,932	3,27	0	3,27	10,332
Fev	141,4	3,6	100	12,726	3,27	3,27	3,27	9,126
Mar	112,9	3,6	100	10,161	3,27	3,27	3,27	6,561
Abr	103,5	3,6	100	9,315	3,27	3,27	3,27	5,715
Mai	106,7	3,6	100	9,603	3,27	3,27	3,27	6,003
Jun	108,3	3,6	100	9,747	3,27	3,27	3,27	6,147
Jul	109,5	3,6	100	9,855	3,27	3,27	3,27	6,255
Ago	122,5	3,6	100	11,025	3,27	3,27	3,27	10,125
Set	142,9	3,6	100	12,861	3,27	3,27	3,27	9,261
Out	162,7	3,6	100	14,643	3,27	3,27	3,27	11,043
Nov	115,2	3,6	100	10,368	3,27	3,27	3,27	6,768
Dez	128,8	3,6	100	11,592	3,27	3,27	3,27	7,992
Total	1.509,2	43,20	1.200	135,83	39,24	35,97	39,24	

Tabela 4. Resultados do método prático Australiano para os dados de precipitação com 75% de probabilidade de ser igualada ou ultrapassada, com 100% de confiança ( $Vo_{res} = 2,06 \text{ m}^3$ ).

Mês	P <sub>(mm)</sub>	D <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	Vo <sub>ap</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>fix</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t-1</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	ΔVo
Jan	88,9	3,6	100	8,001	2,06	0	2,06	4,401
Fev	68,9	3,6	100	6,201	2,06	2,06	2,06	2,601
Mar	67,2	3,6	100	6,048	2,06	2,06	2,06	2,448
Abr	47,6	3,6	100	4,284	2,06	2,06	2,06	0,684
Mai	44,4	3,6	100	3,996	2,06	2,06	2,06	0,396
Jun	52,4	3,6	100	4,716	2,06	2,06	2,06	1,116
Jul	60,1	3,6	100	5,409	2,06	2,06	2,06	1,809
Ago	53,6	3,6	100	4,824	2,06	2,06	2,06	1,224
Set	74,5	3,6	100	6,705	2,06	2,06	2,06	3,105
Out	78,5	3,6	100	7,065	2,06	2,06	2,06	3,465
Nov	50,6	3,6	100	4,554	2,06	2,06	2,06	0,954
Dez	48,6	3,6	100	4,374	2,06	2,06	2,06	0,774
Total	735,3	43,2	1.200	66,177	24,72	22,66	24,72	



Tabela 5. Resultados do método prático Australiano para os dados de precipitação com 80% de probabilidade de ser igualada ou ultrapassada, com 83% de confiança ( $Vo_{res} = 1,90 m^3$ ).

Mês	P <sub>(mm)</sub>	D <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	Vo <sub>ap</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>fix</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t-1</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	ΔVo
Jan	79,0	3,6	100	7,110	1,90	0	1,90	3,510
Fev	59,2	3,6	100	5,328	1,90	1,90	1,90	1,728
Mar	60,1	3,6	100	5,409	1,90	1,90	1,90	1,809
Abr	40,6	3,6	100	3,654	1,90	1,90	1,90	0,054
Mai	36,9	3,6	100	3,321	1,90	1,90	1,90	-0,279
Jun	44,9	3,6	100	4,041	1,90	1,90	1,90	0,441
Jul	52,9	3,6	100	4,761	1,90	1,90	1,90	1,161
Ago	45,0	3,6	100	4,050	1,90	1,90	1,90	0,450
Set	64,8	3,6	100	5,832	1,90	1,90	1,90	2,232
Out	67,3	3,6	100	6,057	1,90	1,90	1,90	2,457
Nov	42,5	3,6	100	3,825	1,90	1,90	1,90	0,225
Dez	39,6	3,6	100	3,564	1,90	1,90	1,90	-0,036
Total	632,8	43,2	1.200	56,952	22,80	20,90	22,80	

**Método da Simulação:** para aplicação do método da simulação foi adotado o mesmo critério do volume fixado adotado no método do Método Prático Australiano, ou seja, 3,27, 2,06 e 1,90 m<sup>3</sup>, obtidos para os três valores de precipitação mensal (média e provável a 75% e 80%). Os resultados estão apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8, e pode-se observar que, a semelhança do Método Prático Australiano, os volumes Vo<sub>fix</sub>, Vo<sub>t-1</sub> e Vo<sub>t</sub> são iguais, portanto, o volume do reservatório é definido pelo próprio volume fixado ( $Vo_{res} = Vo_{fix}$ ). Também, neste método, verifica-se a diminuição do volume do reservatório quando da utilização das precipitações prováveis ao nível de 75 e 80%, sendo que, a confiabilidade para as precipitações média e provável a 75% de probabilidade foi igual a 100% e, de 83% para o nível de probabilidade de 80%. Para os meses de maio e dezembro se faz necessário a complementação do volume do reservatório com fonte externa.

Na Tabela 9 estão apresentados os valores do volume do reservatório, obtidos com a aplicação dos diferentes métodos de estimativa. Pode-se observar que o método dos Dias Sem Chuva, o método de Fendrich e o método Prático Alemão não apresentam sensibilidade, quanto a probabilidade de ocorrência da precipitação. Já o método Azevedo Neto, Prático Inglês, Prático Australiano e o método da Simulação apresentaram sensibilidade, a probabilidade da precipitação utilizada na simulação, com redução da capacidade do reservatório, função do aumento da probabilidade de ocorrência de uma precipitação igual ou superior a adotada. A aplicação do método prático Inglês foi o que gerou o valor mais elevado de estimativa do volume do reservatório, em contrapartida, o método dos Dias Sem chuva foi o que apresentou o menor valor. O método de Fendrich, Prático Alemão e Azevedo Neto foram os que apresentaram valores mais próximos, com média igual a 2,2 m<sup>3</sup>. Já o método Prático Australiano e o método da Simulação forneceram valores semelhantes, uma vez que foi fixado um volume inicial do reservatório, baseado na média dos volumes obtidos com a aplicação dos outros métodos. Tendência semelhante no resultado da aplicação dos métodos de estimativa, utilizado neste, que trabalho foram descritos por Giacchini (2010) para o município de Curitiba, PR.

Tabela 6. Resultados do método da Simulação para os dados de precipitação média mensal, com 100% de confiança ( $Vo_{res} = 3,27 m^3$ ).

Mês	P <sub>(mm)</sub>	D <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	Vo <sub>ap</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>fix</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t-1</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	ΔVo	V <sub>arm</sub> (m <sup>3</sup> )
Jan	154,8	3,6	100	13,93	3,27	3,27	3,27	10,332	0
Fev	141,4	3,6	100	12,72	3,27	3,27	3,27	9,126	0
Mar	112,9	3,6	100	10,16	3,27	3,27	3,27	6,561	0
Abr	103,5	3,6	100	9,31	3,27	3,27	3,27	5,715	0
Mai	106,7	3,6	100	9,60	3,27	3,27	3,27	6,003	0
Jun	108,3	3,6	100	9,74	3,27	3,27	3,27	6,147	0
Jul	109,5	3,6	100	9,85	3,27	3,27	3,27	6,255	0
Ago	122,5	3,6	100	11,02	3,27	3,27	3,27	10,125	0
Set	142,9	3,6	100	12,86	3,27	3,27	3,27	9,261	0
Out	162,7	3,6	100	14,64	3,27	3,27	3,27	11,043	0
Nov	115,2	3,6	100	10,36	3,27	3,27	3,27	6,768	0
Dez	128,8	3,6	100	11,59	3,27	3,27	3,27	7,992	0
Total	1.509	43,20	1.200	135,78	39,24	39,24	39,24		

Tabela 7. Resultados do método da Simulação para os dados de precipitação com 75% de probabilidade de ser igualada ou ultrapassada, com 100% de confiança ( $Vo_{res} = 2,06 m^3$ ).

Mês	P(mm)	D <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	Vo <sub>ap</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>fix</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t-1</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	ΔVo	V <sub>arm</sub> (m <sup>3</sup> )
Jan	88,9	3,6	100	8,00	2,06	2,06	2,06	4,401	0
Fev	68,9	3,6	100	6,20	2,06	2,06	2,06	2,601	0
Mar	67,2	3,6	100	6,04	2,06	2,06	2,06	2,448	0
Abr	47,6	3,6	100	4,28	2,06	2,06	2,06	0,684	0
Mai	44,4	3,6	100	3,99	2,06	2,06	2,06	0,396	0
Jun	52,4	3,6	100	4,71	2,06	2,06	2,06	1,116	0
Jul	60,1	3,6	100	5,40	2,06	2,06	2,06	1,809	0
Ago	53,6	3,6	100	4,82	2,06	2,06	2,06	1,224	0
Set	74,5	3,6	100	6,70	2,06	2,06	2,06	3,105	0
Out	78,5	3,6	100	7,06	2,06	2,06	2,06	3,465	0
Nov	50,6	3,6	100	4,55	2,06	2,06	2,06	0,954	0
Dez	48,6	3,6	100	4,37	2,06	2,06	2,06	0,774	0
Total	735,3	43,2	1.200	66,12	24,72	24,72	24,72		

Tabela 8. Resultados do método da Simulação para os dados de precipitação com 80% de probabilidade de ser igualada ou ultrapassada, com 83% de confiança ( $Vo_{res} = 1,90 m^3$ ).

Mês	P(mm)	D <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	A(m <sup>2</sup> )	Vo <sub>ap</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>fix</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t-1</sub> (m <sup>3</sup> )	Vo <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> )	ΔVo	V <sub>arm</sub> (m <sup>3</sup> )
Jan	79,0	3,6	100	7,11	1,90	1,90	1,90	3,51	0
Fev	59,2	3,6	100	5,32	1,90	1,90	1,90	1,73	0
Mar	60,1	3,6	100	5,42	1,90	1,90	1,90	1,81	0
Abr	40,6	3,6	100	3,65	1,90	1,90	1,90	0,05	0
Mai	36,9	3,6	100	3,32	1,90	1,90	1,90	-0,28	0,28
Jun	44,9	3,6	100	4,04	1,90	1,90	1,90	0,44	0
Jul	52,9	3,6	100	4,76	1,90	1,90	1,90	1,16	0
Ago	45,0	3,6	100	4,05	1,90	1,90	1,90	0,45	0
Set	64,8	3,6	100	5,83	1,90	1,90	1,90	2,23	0
Out	67,3	3,6	100	6,06	1,90	1,90	1,90	2,46	0
Nov	42,5	3,6	100	3,83	1,90	1,90	1,90	0,23	0
Dez	39,6	3,6	100	3,56	1,90	1,90	1,90	-0,04	0,04
Total	632,8	43,2	1.200	56,95	22,80	22,80	22,80		

Tabela 9. Resultados agrupados do volume do reservatório estimado pelos diferentes métodos utilizados no presente.

Método de Estimativa	Precipitação		
	Média	75%	80%
Dias sem Chuva	1,06	1,06	1,06
Fendrich	2,05	2,05	2,05
Azevedo Neto	1,87	0,91	0,78
Prático Inglês	7,55	3,68	3,16
Prático Alemão	2,59	2,59	2,59
Prático Australiano	3,27	2,06	1,90
Simulação	3,27	2,06	1,90
Média	3,09	2,06	1,92

## CONCLUSÕES

Buscando contribuir com a racionalização do uso dos recursos hídricos, por meio da utilização de água da chuva em residências do município de Lages/SC, foram realizadas simulações para a determinação da capacidade do reservatório de acumulação, utilizando-se diferentes métodos de estimativa. O volume do reservatório variou com o método utilizado, haja visto, as características consideradas na formulação de cada um dos métodos. Segundo a NBR 15527/2007, o volume do reservatório deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais, cabendo ao projetista a escolha do método a ser utilizado no dimensionamento.

Neste estudo, além da precipitação média mensal, foram utilizadas precipitações prováveis de ocorrerem ao nível de 75 e 80%. A cada 4 anos em 3 anos a precipitação adotada seria igualada ou

superada, e a cada 5 anos em 4 anos seria igualada ou superada, para a precipitação provável de 75% e 80%, respectivamente. A adoção deste critério teve como consequência, a obtenção de volumes menores para os reservatório. Para a estimativa do volume do reservatório, a adoção da precipitação média mensal para Lages/SC, pode superestimar o volume do reservatório. Além disto, o nível de probabilidade de ocorrência da precipitação média mensal, média dos 12 meses, foi de 31,93% (Soccol et al., 2010).

## REFERÊNCIAS

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial **Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre: Antac, v. 8, n.4, abr./jun. 2008.

ALADENOLA, O. O.; ADEBOYE, O.B. Assessing the Potential for Rainwater Harvesting. **Water Resources Management**. 009-9542-y. December 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

BEEKMAN, G. **Gerenciamento integrado de recursos hídricos**. Brasília – DF, IICA, 1997.

FENDRICH, R. **Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**. Curitiba, 2002. 499p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná.

GHISI, E.; FERREIRA, D.F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Build Environment**, v.42.n.7, p.2522, 2007.

GIACCHINI, M. **Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos**. Curitiba, 2010. 144p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.

KALBUSCH, A. O Uso Racional Da Água e a Avaliação De Sustentabilidade Ambiental em Projetos para Habitação. SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 11., 2009, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009.

ROCHA, V. L. **Validação do algoritmo do programa netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações**. 166p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

**SABESP** – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: [www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br) Acesso em outubro de 2009.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre: ANTAC, v. 2, n.4, out dez 2002.

SOCOL, O. J.; CARDOSO, C. O.; MIQUELLUTI, D. J. Análise da precipitação mensal provável para o município de Lages, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.560-574, 2010.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva, para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Global environment outlook 3**. Disponível em: [www.unep.org.jp](http://www.unep.org.jp) Acesso em fevereiro de 2007.

**UNIÁGUA** – Disponível em: [www.uniagua.org](http://www.uniagua.org) Acesso em março de 2006.