



## **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL PARA USO DOMÉSTICO EM SÃO BERNARDO DO CAMPO - SP**

### **SCALING OF A RAINWATER HARVESTING SYSTEM FOR DOMESTIC USES IN SÃO BERNARDO DO CAMPO – SP**

INÁCIO, A. R.<sup>1</sup>

DINIZ, A. F.<sup>2</sup>

CANDIA, M. M.<sup>3</sup>

OLIVEIRA, T. M.<sup>4</sup>

CHAGAS, R. K.<sup>5</sup>

#### **RESUMO**

Há pouca quantidade de áreas verdes para percolação da água das chuvas nos centros urbanos, pois, ao longo dos anos, os mesmos sofreram com a impermeabilização do solo, o que contribuiu com o aumento da velocidade da água escoada superficialmente, originando enxurradas e enchentes. O Sistema de Captação de Água Pluvial por Gravidade (SCAP) é uma alternativa viável para melhoria desses problemas. No Estado de São Paulo a Lei nº 12.526/07 estabelece que em lotes edificadas ou não com área superior à 500m<sup>2</sup> o SCAP seja implementado. Esse estudo visa dimensionar

---

<sup>1</sup> Graduanda do último período de Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac. Monitora, pelo Centro Universitário Senac, das disciplinas de Prevenção e Controle de Poluição Hídrica I, e Projeto Interativo VIII com foco em Biomonitoramento. Avenida Engenheiro Eusébio Stevaux, 823 - Santo Amaro, São Paulo – SP. E-mail: amanda\_rodrigues\_02@hotmail.com.

<sup>2</sup> Graduanda do último período de Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

<sup>3</sup> Graduanda do último período de Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

<sup>4</sup> Graduanda do último período de Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

<sup>5</sup> Doutor em Ecologia de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos pela Universidade de São Paulo; Professor Pesquisador do Centro Universitário Senac.



um sistema de captação para uma residência com 525m<sup>2</sup>, no município de São Bernardo do Campo, ou seja, trata-se de um estudo de caso, considerando a Lei Estadual nº 12.526 e uma vazão de 76,86L/h, cujo volume captado pode chegar a 1844,64 L, possibilitando diversos usos não potáveis para a água captada, como vaso sanitário, máquina de lavar, lavagem de carros e regas em jardins. Para a construção desse sistema, pode ser utilizada tubulação de PVC facilmente encontrada no comércio, atendendo as especificações da NBR 10.844/89. O SCAP é um sistema promissor, que também poderá ser utilizado para residências com menor dimensão.

**Palavras – Chave:** Sistema de Captação de Água Pluvial, impermeabilização do solo, enchentes, Lei Estadual nº 12.526.

## ABSTRACT

There is little amount of green areas for rainwater percolation in urban centers because, over the years, they have suffered from soil impermeability, what contributes to the increase of surface runoff speed, causing great superficial stream of water and floods. The Rainwater Harvesting System by gravity (RHS) is a viable alternative to improve these problems. In the state of São Paulo, the 12.526/07 Act establishes that, in lands for constructions, built or not, -with an area greater than 500m<sup>2</sup> RHS should be implemented. This study aims to calculate a Rainwater Harvesting System for a residence with 525m<sup>2</sup>, in São Bernardo do Campo. Therefore, it is a case study considering the 12.526/07 Act and a flow rate of 76,86 L/h, in which the collected volume can reach 1844,64 L, allowing different non-potable uses for the rainwater harvested, such as in toilets, washing machines, washing cars and watering gardens. For the construction of this system, it can be used PVC pipings, easily found in the market, which meets the ISO 10.844/89 technical specifications. The RHS is a promising system which can also be used for smaller houses.

**Keywords:** Rainwater Harvesting System, soil impermeability, floods, 12.526 Act.



## 1. INTRODUÇÃO

A água é o símbolo comum da humanidade, respeitada e valorizada em todas as religiões e culturas, tornou-se também um símbolo da equidade social, pois a crise da água é, sobretudo, de distribuição, conhecimento e recursos, e não de escassez absoluta (VASCONCELOS & FERREIRA, 2007).

As técnicas de captação e reúso de águas pluviais são alternativas sustentáveis, que além de contribuírem para um consumo racional, proporcionam a conservação dos recursos hídricos. Além disso, com a captação de águas pluviais, eventos como alagamento e enchentes poderão ser minimizados, pois o volume de água escoada na superfície é reduzido significativamente se um sistema de captação for implantado nas residências. Por isso tecnologias e projetos são desenvolvidos, a fim de minimizar os possíveis efeitos de uma redução de água potável (TAJIRI; CAVALCANTI; POTENZA, 2012).

No Brasil, a gestão dos recursos hídricos segue a Lei das Águas nº 9.433/97, entre outras, que defende a conservação e o uso racional da água sob a Política Nacional de Recursos Hídricos. Um de seus principais objetivos é assegurar a disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados, bem como promover uma utilização racional e integrada de tais recursos. O Estado de São Paulo foi pioneiro em implantar uma lei estadual que defendesse os recursos hídricos. A Lei Estadual nº 7.663/91 estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.

Ainda no estado de São Paulo, como medida de caráter mandatório, surgiu a Lei Estadual nº 12.526, vigente desde 2007, que torna obrigatória a implantação de sistema para captação e retenção de águas pluviais em lotes edificados ou não que possuam área impermeabilizada superior a 500 m<sup>2</sup>, visando à redução do escoamento superficial em áreas impermeabilizadas para minimização de enchentes, e que diretamente, contribui para o uso e conservação dos recursos hídricos, uma vez que com os sistemas de captação de água da chuva é possível utilizar água pluvial em fins não potáveis, ou em fins potáveis quando recebido tratamento prévio.

Dessa maneira, o dimensionamento técnico, considerando as variáveis ambientais é necessário antes da implantação do sistema de captação de água pluvial, portanto o trabalho tem como objetivo promover o dimensionamento de um sistema de captação de



água pluvial para uma residência hipotética, cuja área de cobertura é de 525m<sup>2</sup>, situada no município de São Bernardo do Campo, atendendo à legislação pertinente ao reaproveitamento de água pluvial no estado de São Paulo.

## 2. JUSTIFICATIVA

Segundo ANNECCHINI (2005), vários países sofrem com a escassez da água, em decorrência do desenvolvimento desordenado das cidades, da poluição dos recursos hídricos, do crescimento populacional e industrial, gerando aumento na demanda de água potável. É crescente a necessidade de encontrar meios de conservar os recursos hídricos, onde as alternativas para aumentar a quantidade e a qualidade da água passam, necessariamente, por uma revisão do uso já em meios urbanos, objetivando a redução do consumo, melhorando a qualidade e distribuição desse recurso natural.

No Estado de São Paulo, tem-se a Lei Estadual nº 12.526/2007, que determina a implantação de sistemas de captação e águas pluviais, em lotes edificados ou não, com área de superfície de 500m<sup>2</sup> ou mais, visando ganhos ambientais em relação ao consumo de água, bem como na ocorrência de enchentes, uma vez que com a implantação destes sistemas, diminui-se também a quantidade de água escoada.

O Município de São Bernardo do Campo sofre com o crescimento desordenado, ocupação irregular, e ações antrópicas, como a impermeabilização do solo, fazendo com que a cidade tenha grandes problemas em relação à ocorrência de enchentes, principalmente nos meses mais chuvosos (Sumário de Dados, 2010).

Estudos realizados por Tajari, Cavalcanti e Potenza (2012) apontam que dos 3,4 bilhões de litros de água/dia produzidos para a cidade de São Paulo, 30% são perdidos em vazamentos nas tubulações e por problemas relacionados a medições e fraudes. Um cidadão brasileiro gasta em média de 50 a 200 litros de água tratada diariamente em sua residência, dependendo da região em que habita, sendo a maior quantidade decorrente do uso do chuveiro, responsável por 55% do consumo, contabilizando gastos de água em torno de 27,5 a 110 litros (Tajari, Cavalcanti e Potenza, 2012).

Entre os usos não potáveis da água, ou seja, que não necessitam de um tratamento anterior para alcançar padrões de potabilidade destacam-se o uso de bacias sanitárias convencionais que consomem até 12 litros de água por ciclo de descarga, e máquinas de



lavar roupa, que gastam em média 155 litros por lavagem (Tajiri, Cavalcanti e Potenza, 2012).

Para padronizar e regularizar os sistemas de captação de água pluvial foi implementada em 2007 a NBR 15.527 que dispõe sobre o aproveitamento de água da chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não-potáveis após um tratamento adequado. A norma estabelece que o estudo do sistema de captação deve ter o alcance do projeto, a população que utilizará a água pluvial e a demanda da projeto. Além disso, institui a necessidade de elaborar um estudo sobre a precipitação da região onde será implantado o aproveitamento de água da chuva para uma melhor concepção do sistema.

Sistemas de captação de água da chuva captam volumes que caem e escoam sobre telhados ou lajes que, depois é conduzida até o ponto de armazenagem através de calhas e condutores, passando por equipamentos de filtragem e descarte de impurezas. Após passar pelo filtro, a água é armazenada em um reservatório e é bombeada a um segundo reservatório (caixa d'água), onde tubulações irão distribuir a água não potável para o consumo na edificação (JÚNIOR & PÊGO, 2012).

A Organização Mundial de Saúde – OMS, não recomenda o reúso direto de águas da chuva para fins potáveis, uma vez que pode expor a saúde humana a riscos de diversas naturezas, sempre de elevado grau de periculosidade. Desta forma, o reúso de águas pluviais, para que não haja ingestão pelo ser humano, terá finalidade não potável, como rega de jardins, descargas sanitárias, lavagens de pisos, reservas contra incêndios, lagoas artificiais, lavagens de carros e espelhos d'água (PALAZZOLO *et. al*, 2010).

“Um sistema de captação de água da chuva possui os seguintes componentes: (i) Área de captação da água da chuva (telhado do imóvel);(ii) Calhas e Condutores: do telhado a chuva migra para as calhas e em seguida para os condutores, os quais devem ser fabricados com de materiais inertes, como o PVC; (iii) Mecanismos de Remoção de Impureza: utilizado para o tratamento da água, como o filtro lento de areia, que é constituído de um leito de areia o qual está apoiado por um leito de cascalho; (iv) Reservatório: local para armazenamento da água da chuva; (v) Bomba: usada para bombear a água captada e

armazenada no reservatório inferior para um reservatório elevado; (vi) Válvula de retenção: utilizada após a bomba para que a água não retorne” (JUNIOR & PÊGO, 2012).

Com um sistema constituído desta forma, é possível fazer a distribuição da água por gravidade, uma vez que a água captada e filtrada ficará armazenada, no final do processo, em um reservatório elevado. Isto diminui gastos em relação à implantação do projeto, uma vez que com um reservatório elevado, necessita-se apenas de uma bomba para bombear a água do reservatório inferior para o reservatório superior e assim distribuir a água por gravidade, como dito anteriormente.

### 3. MÉTODO DE TRABALHO

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

São Bernardo do Campo se localiza no Planalto Paulistano, nos contrafortes da Serra do Mar, numa posição intermediária entre o Porto de Santos e a Capital do Estado de São Paulo (Figura 1). Simultaneamente, com os municípios de Santo André, São Caetano do Sul, Diadema, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra e Mauá, compõe a Sub-Região Sudeste da Região Metropolitana de São Paulo. A geomorfologia do município divide-se em Planalto Atlântico (com cerca de 5.000 km<sup>2</sup>, e altitudes médias entre 715 e 900 m) e Serra do Mar (Sumário de Dados, 2010).



**Figura 01 - Localização do Município de São Bernardo do Campo na Região do Grande ABC. Fonte: Adaptado de Sumário de Dados, 2010.**

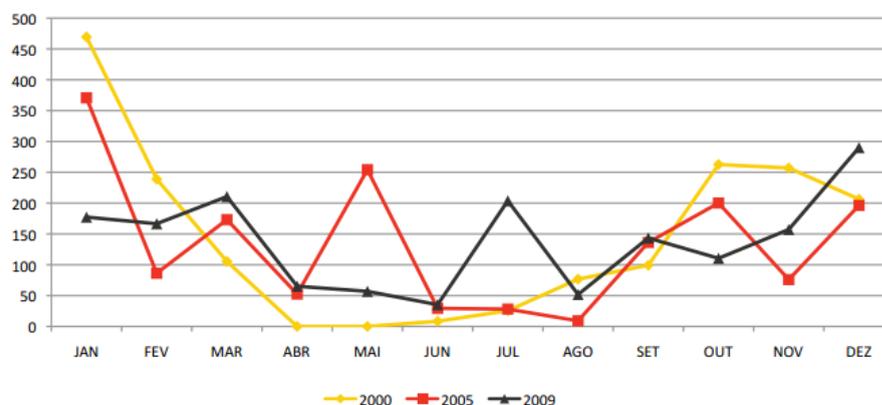
Todas as águas do município pertencem a duas bacias hidrográficas fundamentais: Bacia da Baixada Santista e Bacia do Tietê, a qual se apresenta sob dois aspectos, sendo eles Sub-Bacia do Tamanduateí e Sub-Bacia do Pinheiros. Em relação à vegetação, o município apresenta três áreas distintas: região próxima à Serra do Mar, com alta densidade de cobertura vegetal nativa, composta por Mata Atlântica secundária em estágio inicial de regeneração e Mata Atlântica primária ou secundária nos estágios médio e avançado de regeneração; região de vegetação secundária (área desmatada, abandonada e regenerada) de média densidade, com predominância de capoeiras, áreas de intervenção antrópica, compostas por gramíneas e arbustos baixos e esparsos, principalmente nas vertentes da Bacia do Sistema Billings; e região correspondente ao restante da área do município, caracterizada pela ausência de mata, intensamente urbanizada e vegetação restrita a praças e canteiros (Sumário de Dados, 2010).

De acordo com o Sumário de Dados (2010), o índice pluviométrico do município é de 1607 mm/ano. O município possui dois períodos distintos no que se refere à pluviosidade, a saber:

i) Período mais chuvoso, de outubro a março, variando os meses mais chuvosos entre janeiro, fevereiro e março.

ii) Período mais seco, de abril a setembro, em que junho é, predominantemente, o mês mais seco.

A Figura 02 mostra a distribuição mensal de chuvas no município de São Bernardo do Campo:



**Figura 02: Média mensal de pluviosidade (mm) São Bernardo do Campo, 2000, 2005, 2009. Fonte: Sumário de Dados, 2010.**



Considerando uma residência hipotética com área de 525 m<sup>2</sup> (21m x 25m), no município de São Bernardo do Campo, pretende-se dimensionar um sistema de captação de águas pluviais, considerando os seguintes aspectos descritos nas equações de 1 a 19 abaixo descritas:

(i) Área de captação de água da chuva

Pode ser obtida multiplicando-se a largura e o comprimento do telhado, como pode ser visto na equação (1):

$$A = L \times C \quad (1)$$

(ii) Volume de água captada

Para o cálculo de volume de água captada adotou-se o Método Prático Australiano descrito na NBR 15.527, conforme pode ser visto na equação (2):

$$V = \frac{I \times A \times C}{1000} \quad (2)$$

Onde:

V = volume de água captada, em m<sup>3</sup>

I = precipitação, em mm/h

A = área de captação, em m<sup>2</sup>

C = Coeficiente de Runoff

1000 = fator de conversão

Segundo Carvalho e Silvia (2006), a estimativa da vazão de água captada da chuva é essencial para o dimensionamento das tubulações e calhas. Existem várias equações para estimar esta vazão, porém o método racional é o mais usado mesmo o seu uso sendo limitado a pequenas áreas (até 80 ha).

Este método racional foi desenvolvido pelo irlandês Thomas Mulvaney em 1851, sendo utilizado quando há grande disponibilidade de dados pluviométricos e poucos registros sobre vazão de água da chuva. A equação racional estima a vazão máxima de escoamento de água sobre determinada área quando a mesma estiver sujeita a máxima intensidade de precipitação, com determinado tempo de concentração. No entanto, o volume de água que pode ser aproveitada não corresponde integralmente àquele que foi precipitado. Para corrigir essa dissintonia faz-se uso do Coeficiente de Runoff que representa a razão entre a água que escoar superficialmente pelo total da



água precipitada (Oliveira, 2008). O coeficiente de Runoff varia entre 0,90 a 0,67, porém, para telhas de cerâmicas e de metal varia de 0,80 a 0,90. Neste caso, considerando um telhado cerâmico de 525m<sup>2</sup>, considera-se C = 0,80, o que significa uma perda de 20% da quantidade de água pluvial que precipita para o que é aproveitada (TOMAZ, 2003).

### (iii) Calha e tubulação externa

O material utilizado nas calhas e tubulações na residência foi o PVC, assim os cálculos consideraram esse tipo de material e as respectivas dimensões seguem os requisitos estabelecidos pela norma ABNT NBR 10.844/89. Dessa forma, uma cobertura com comprimento de 25 m – caso da situação presente - deverá ter uma calha com largura (L) de 0,5 m, e altura (H) de 0,16 m, permitindo calcular a área (A) e o perímetro molhado (P) da calha pelas equações (3) e (4):

$$A = L \times H \quad (3)$$

$$P = L + 2 \times H$$

(4)

Com o valor do perímetro molhado, é possível determinar então o raio hidráulico (RH) da calha, pela equação (5):

$$RH = \frac{A}{P}$$

(5)

De acordo com a NBR 10.844/89, utilizando a fórmula de Manning-Strickler é possível dimensionar a vazão máxima que esta calha suportará, a partir da aplicação da equação (6):

$$Q_{\text{máx}} = 60.000 \times \left(\frac{A}{n}\right) \times R_H^{2/3} \times S^{1/2} \quad (6)$$

Onde:

Q<sub>máx</sub> = vazão máxima

60.000 = fator de conversão

A = área da calha

n = coeficiente de rugosidade de Manning (para PVC = 0,011)

RH = raio hidráulico

S = declividade (0,005 m / m)



Para o dimensionamento da tubulação vertical deve-se considerar a vazão calculada anteriormente, utilizando a maior pluviométrica mensal: ou seja, neste caso aquela registrada ao longo do mês de dezembro, de 300 mm/mês (0,403 mm/h). De acordo com a NBR 10.844/89 o diâmetro mínimo de uma tubulação vertical é 70 mm (7cm), dessa forma, é necessário verificar se esse diâmetro mínimo atende a vazão calculada anteriormente. Sendo assim, primeiramente calcula-se a área da tubulação (A) pela equação (7):

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad (7)$$

Em seguida, calcula-se a velocidade de escoamento (V) dividindo-se a vazão (Q) pela área da tubulação (A) – nos termos da equação (8), verificando se o diâmetro é condizente com a vazão do projeto.

$$v = \frac{Q}{A}$$

(8)

Para o redimensionamento da vazão e da velocidade da tubulação vertical, adotou-se as informações de chuva crítica do município de São Paulo para averiguação da adequação do diâmetro de uma tubulação com diâmetro de 70 mm. Dessa maneira, conforme o estudo das Equações de Chuvas Intensas no Estado de São Paulo elaborado pelo DAEE, Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo, em 1999 ocorreu uma precipitação crítica com duração de 30 minutos, com tempo de recorrência de 10 anos e precipitação média de 92 mm/h. Para esta precipitação, aplica-se novamente a equação 2, obtendo-se um novo volume de água captada, onde posteriormente verifica-se qual será a vazão resultante deste volume em uma hora. Considerando tal vazão obtida e um condutor vertical de 5 m é possível verificar qual é o diâmetro necessário para suportar a vazão da chuva crítica utilizando o gráfico de diâmetro interno mínimo dos condutores verticais que consta na NBR 10.844/89.

#### (iv) Filtro lento de areia

A filtragem da água de chuva é um processo necessário para a retirada dos elementos em suspensão que são arrastados pela água da chuva ao passar pelas coberturas das edificações. Uma alternativa de baixo custo é o filtro lento de areia, que pode ser de construído em alvenaria, PVC ou fibra de vidro, composto de material inerte de granulometria diferente, desde o mais fino até o mais grosso (OLIVEIRA, 2005 *apud*



TORRES, MORAES e JÚNIOR, 2012). Além disso, os filtros lentos de areia também apresentam potencial de remoção de microrganismos, o que contribui para a melhoria da qualidade da água (FARIAS, 2011).

De acordo com Murça (2011) para um funcionamento adequado do filtro lento de areia, ainda que a taxa de filtração seja variável, esta deve ser no máximo de 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia. Dessa forma, adotou-se a taxa de filtração de 3m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e, conseqüentemente, um filtro com área de 2,25 m<sup>2</sup>, uma vez que com tal dimensão será possível filtrar 4,08 m<sup>3</sup>/dia, valor este que representa a precipitação considerada mais crítica no município de São Bernardo do Campo.

#### (v) Reservatórios

Serão considerados dois reservatórios para o SCAP, uma vez que se faz necessário um reservatório que receba a água filtrada do filtro lento de areia, e um reservatório elevado onde haverá a dosagem de cloro e posterior distribuição da água por gravidade. Considerando o Método Prático Inglês (NBR 15.527, 2007) para dimensionamento de reservatórios, chegou-se a um volume anual de captação aproximado de 42m<sup>3</sup>, através da equação 9:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (9)$$

Onde:

V = Volume do reservatório, em L

P = Precipitação média anual, em mm

A = Área de captação, em m<sup>2</sup>

Considerando que São Bernardo do Campo possui 6 meses de chuva intensa, e adotando que tal reservatório deve suportar a vazão destes meses, adotou-se como fator de segurança, reservatórios com volume de 7 m<sup>3</sup> cada (1,4m x 2m x 2,5m), com uma vazão de saída (Q) dos reservatórios sendo obtida pela divisão do volume (V) pelo tempo (T):



$$Q = \frac{V}{T}$$

(10)

(vi) Tubulação interna

De acordo com o Zocoler *et. al* (2004), o dimensionamento da tubulação de recalque para escoamento não contínuo é feito pela equação de Forchheimer:

$$\phi = 1,3 \times T^{0,25} \times \sqrt{Q}$$

(11)

Onde:

$\phi$  = diâmetro

1,3 = fator de conversão

T = tempo de horas trabalhadas

Q = vazão que sai do reservatório em m<sup>3</sup>/s

De acordo com Mello e Carvalho (1998), a rugosidade do PVC é de 0,06 mm, ou seja, 0,00006 m. Sabendo-se esta informação e o diâmetro da tubulação, é possível calcular a rugosidade relativa do material pela equação (12), que é necessária para a determinação do fator de atrito quando correlacionado ao número de Reynolds no Diagrama de Moody, que será abordado no item vii.

$$\text{Rugosidade relativa} = \frac{E_{\text{PVC}}}{\phi}$$

(12)

(vii) Bomba

Para a residência considerada nesse estudo é adequado a utilização de uma bomba para transportar a água do reservatório 1 para o reservatório 2 consequentemente para calcular a potência da bomba os seguintes fatores, deverão ser considerados nas equações de 13 a 19.

O número de Reynolds expressa a relação entre força de inércia e força viscosa. A partir do Número de Reynolds e da rugosidade relativa é possível calcular o fator de atrito através do Diagrama de Moody.

$$Re = \frac{\phi \times V}{\nu}$$

(13)

Onde:



Re = Número de Reynolds

$\emptyset$  = diâmetro da tubulação

V = velocidade de escoamento

$\nu$  = viscosidade cinemática da água ( $1 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s)

O fator de atrito ou coeficiente de resistência de Darcy-Weisbach, por vezes citado como fator de fricção (f), é outro parâmetro adimensional utilizado para calcular a perda de carga em uma tubulação devido ao atrito. As perdas de carga da sucção e do recalque da bomba também devem ser calculadas, pois as sobre pressões podem acarretar, nos casos mais críticos, ruptura de canalizações que não apresentam coeficientes de segurança suficientes (SOUZA, 2009). Para calcular a perda de carga da sucção (Hs), utiliza-se a equação (13) descrita por Gomes *et al.* (2010):

$$H_s = f \times \frac{L}{\emptyset} \times \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

(14)

Onde:

Hs = perda de carga da sucção

f = fator de atrito

L = comprimento dos trechos retos, em metros (reservatório até a bomba)

$\emptyset$  = diâmetro da tubulação

V = velocidade de escoamento em m/s

g = força gravitacional, adotado como 10 m/s<sup>2</sup>

Para cálculo do comprimento dos trechos retos (L), somam-se todas as perdas de carga dos componentes hidráulicos desde a bomba até o reservatório 2. Para situação objeto da presente avaliação, foram adotados valores de perda de carga que constam na NBR 5.626/1998. Nesse estudo, somaram-se os valores referentes à válvula de retenção hidráulica, curva de 90°, trecho reto e saída, como se pode ver na equação (15):

$$L = \text{válvula de retenção hidráulica} + \text{curva } 90^\circ + \text{trecho reto} + \text{saída}$$

(15)

Semelhante à sucção, a perda de carga do recalque (Hr) pode ser calculado pela equação (16) descrita por GOMES *et al.* (2010):



$$H_r = f \times \frac{L}{\varnothing} \times \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

(16)

Onde:

$H_r$  = perda de carga do recalque

$f$  = fator de atrito

$L$  = recalque

$\varnothing$  = diâmetro da tubulação

$V$  = velocidade de escoamento em m/s

$G$  = força gravitacional, adotado como 10 m/s<sup>2</sup>

Dessa forma, a perda de carga total será a somatória da perda de carga da sucção e perda de carga do recalque ( $H_r$ ).

De acordo com Souza (2009), a altura manométrica total pode ser obtida pela somatória da altura geométrica ( $H_g$ ) e perda de carga total, ou seja, a altura manométrica corresponde à energia por unidade de peso que o sistema solicita para transportar o fluido do reservatório de sucção para o reservatório de descarga, com uma determinada vazão. Essa energia será fornecida por uma bomba, que será o parâmetro fundamental para o selecionamento da mesma. No entanto, é preciso primeiramente calcular o N.P.S.H. (Net Positive Suction Head) da bomba afogada, pois é necessário saber qual é a energia ou carga total na entrada da bomba.

O N.P.S.H. pode ser obtido pela equação (17) descrita pela NBR 12.214/1992:

$$NPSH = Z + H_{atm} + H_v + \Delta H_s$$

(17)

Onde:

NPSH = energia ou carga total na entrada da bomba

$Z$  = posição da bomba em relação ao solo

$H_{atm}$  = pressão atmosférica

$H_v$  = pressão de vapor d'água para uma determinada temperatura

$\Delta H_s$  = perda de carga na sucção

Para se obter a altura manométrica da bomba, utiliza-se a Equação de Bernoulli, descrita por MOREIRA (2007):

$$H-h = \left( \frac{P_2}{\rho \cdot g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right) - \left( \frac{P_1}{\rho \cdot g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \right) \quad (18)$$



Onde:

H = altura manométrica da bomba que se deseja obter

h = perda de carga total

P = pressão atmosférica (no ponto 1 e 2)

Z = altura

$\rho$  = densidade da água (1.00 g/cm<sup>3</sup>)

g = força gravitacional, adotado como 10 m/s<sup>2</sup>

Finalmente, de posse dos valores para as demais variáveis será então possível calcular a potência da bomba (Pot) pela equação (19):

$$\text{Pot} = \frac{9,8 \times Q \times H}{n}$$

(19)

Onde:

Pot = potência da bomba

Q = vazão em m<sup>3</sup>/s

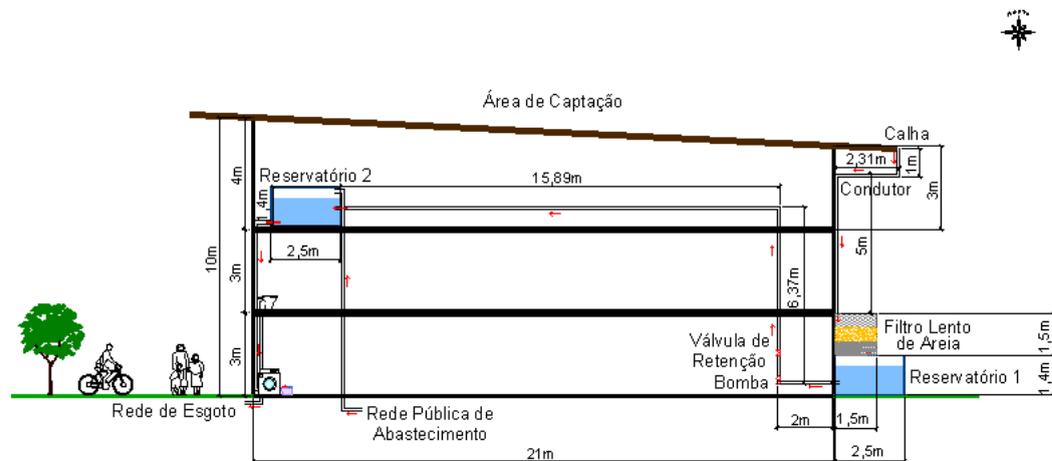
H = altura manométrica da bomba

n = eficiência da bomba

Para verificar se esta bomba é viável comercialmente, é necessário saber sua potência em CV (cavalos), transformando a potência obtida de kW para W, ou seja, multiplicando-o por 1000 e dividindo-se por 735 (fator de conversão) para encontrar o valor em cavalos.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cálculos realizados demonstraram que a vazão de captação de água pluvial será de 0,07686 m<sup>3</sup>/h, ou seja, 76,86 L/h. Através deste resultado, estima-se, então, que em um dia consiga ser captado um volume total de 1.844,64 L considerando a média pluviométrica para o município de São Bernardo do Campo. Na Figura 03 é possível ver os principais elementos dimensionados para o SCAP.



Escala 1:150

**Figura 03 - Sistema de Captação de Água da Chuva.**

Para o dimensionamento da calha de captação, considerou-se o valor de referência, ou seja, 0,5m e 0,16m de altura. Contudo, os cálculos de área, perímetro molhado, raio hidráulico, considerando a vazão do mês mais chuvoso, levam a uma vazão máxima que calha suportará de 6.485 l/min. Porém, a vazão é muito superior à projetada, 1,281L/min, ou seja, a calha poderia ser redimensionada em função da vazão.

Dessa maneira, para o redimensionamento da calha, adotou-se a largura usual de 0,3 m, chegando a uma vazão máxima que a calha suportará de 691,62 L/min, aproximadamente.

Para o dimensionamento da tubulação vertical também é necessário utilizar a vazão de água do mês mais chuvoso. Conforme descrito pela NBR 10.844/89 o diâmetro mínimo dessa tubulação deverá ser de 70 mm, cuja velocidade de escoamento obtida foi de 1,22 cm/s, ou seja, a tubulação de 70 mm suportará a vazão prevista inclusive no mês mais chuvoso.

E, ainda uma tubulação com 70 mm será capaz de captar uma precipitação mais intensa com 92 mm/h, duração de 30 minutos e tempo de recorrência a cada 10 anos.

Considerando uma tubulação vertical projetada de 5 m de comprimento o valor de diâmetro mínimo necessário para a captação das águas pluviais e transporte até o filtro lento de areia será de aproximadamente 62 mm.

Para o filtro lento de areia, adotou-se uma taxa de filtração de  $3\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , uma vez que a mesma pode variar entre 1 e  $6\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , sendo este um valor à critério do



projetista. Considerando o mês mais chuvoso, cuja vazão é de ou 4,08 m<sup>3</sup>/dia, o filtro lento de areia deverá ter uma área de 2,25 m<sup>2</sup> para suportar a vazão do mês mais chuvoso, porém esse dimensionamento não impede que o filtro funcione corretamente com vazões menores.

Para os reservatórios 1 e 2, embora a vazão máxima de água pluvial captada seja de 0,170 m<sup>3</sup>/h, o volume mínimo necessário em cada reservatório seria de 0,170 m<sup>3</sup>, porém, considera-se necessário dimensionar reservatórios com volumes superiores ao mínimo necessário, para armazenamento adequado em situações de chuvas intensas. Dessa maneira, considerando o Método Prático Inglês, adotou-se um volume de 7m<sup>3</sup> para ambos os reservatórios com uma vazão de saída de água de 0,00194 m<sup>3</sup>/s.

A tubulação interna deverá ser dimensionada seguindo as especificações da ABNT para escoamento não contínuo, ou seja, através da equação de Diâmetro Econômico, obteve-se o valor de 2,6 cm, porém foi adotado o valor de 3,175 cm que equivale a 1<sup>1/4</sup>, pois de acordo com a NBR 5.626/98 é possível trabalhar com tubulações de 1 polegada, equivalente a 2,54 cm, porém não seria adequado para a vazão calculada, sendo necessário utilizar um diâmetro superior, mais próximo do valor obtido, ou seja 3,175 cm.

Para calcular a velocidade de escoamento na tubulação interna considera-se a rugosidade do PVC (0,06 mm) e a rugosidade relativa de 0,00189, que é a relação da rugosidade do PVC com o diâmetro da tubulação, e a área da tubulação (5,3 x 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>), obtendo-se então como um valor de 3,66m/s.

E finalmente, para calcular a potência da bomba, diversos fatores devem ser levados em consideração, iniciando pelo Número de Reynolds, cujo valor obtido foi de 11,62 x 10<sup>5</sup>. e obtendo o fator de atrito de 0,03. Esse valor é necessário para calcular a perda de carga da sucção, de 1,266 m, e a perda de carga do recalque, de 17,95 m.

A partir da perda de carga de sucção e de recalque, a perda de carga total será de 19,216 m. Somando-se a perda de carga total e a altura geométrica (diferença de nível entre o reservatório 1 e 2) que é de 6 m, obtém-se então a altura manométrica, que será 25,216 m.

Para se obter a altura manométrica da bomba, é necessário, entre outros fatores, saber a perda de carga total na entrada da bomba (NPSH), que é influenciada pela posição da bomba em relação ao solo, pressão atmosférica e pressão de vapor d'água para uma determinada temperatura. Considerando essas variáveis, o valor obtido para a



perda de carga total foi de 8,345 m, e para a altura manométrica da bomba obteve-se o valor de 20,386 m.

A potência da bomba foi calculada a partir da altura manométrica da bomba, e o valor obtido foi 0,3876 kW, mas ainda é necessário transformar essa potência para cavalos (CV), possibilitando encontrar modelos comerciais com uma potencia superior a 0,5CV. O valor obtido a partir dos cálculos foi de 0,53 CV, ou seja, é possível encontrar bombas com essa potência para aquisição no mercado.

## 5. CONCLUSÃO

Para uma residência de área de superfície de 525m<sup>2</sup> localizada no município de São Bernardo do Campo, considerando uma vazão disponível de 76,86L/h estima-se que em um dia seja captado 1844,64 L.

Em virtude de, em média, um vaso sanitário utilizar 12 L de água a cada uso, e de uma máquina de lavar roupas consumir 155 L para cumprir suas funções, o total de água captada permite utilizar o vaso cerca de 154 vezes e a máquina de lavar cerca de 12 vezes ao dia, respectivamente, ou seja, além da utilização da água para lavagem de carros, rega de jardim e lavagem de área comum.

Uma das peculiaridades do SCAP é a necessidade do reservatório elevado ter ligação com a rede pública de abastecimento de água para que em épocas de estiagem, o abastecimento continue operando normalmente.

A utilização da tubulação de PVC é viável, pois os diâmetros calculados estão disponíveis no mercado. Além disso, da tubulação externa que atende as especificações da NBR 10.844/89, bem como, a potência da bomba necessária para bombeamento entre reservatórios podem ser encontrados igualmente, itens de estoque em estabelecimentos comerciais que atendem ao segmento de construção.

O sistema de captação de água pluvial é viável tecnicamente em residências com área de 525m<sup>2</sup>, sendo possível dimensioná-lo a partir de cálculos hidráulicos, ou seja, é possível atender a Lei Estadual nº 12.526/07.

Além disso, de acordo com Cardoso (2010), um estudo realizado em um condomínio de Habitações de Interesse Social destinado ao Programa "Minha Casa Minha Vida" do Governo Federal, localizado na cidade de Feira de Santana-BA, proporcionou saber que em lotes de 170m<sup>2</sup> cada, o SCAP obtém resultados satisfatórios,



pois a demanda nesta região para utilização de água não potável é maior que a captação de água pluvial por este sistema utilizado em estudo, o que significaria que toda água captada é utilizada, gerando uma redução de aproximadamente 22% no gasto com água potável que era consumida para fins não potáveis. Desse modo, a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva em edificações com áreas menores também é viável.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores Sidnei Gobbi, Eduardo Licco e Rodrigo de Freitas Bueno, bem como ao colega Humberto Carlos Ruggeri pelas orientações nos estudos hidráulicos, e ao professor Eduardo Lucas Subtil pelas orientações para escolha e desenvolvimento dos estudos referentes ao filtro lento de areia.

## 7. REFERÊNCIAS

ANNECCHINI, V.P.K. **Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR nº 10.844 – Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR nº 12.214 – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1992.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR nº 5.626 – Instalação predial de água fria.** Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR nº 15.527 – Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. **Lei nº 9.433.** Brasília, 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/19433.htm)>. Acesso em 02 de abril de 2012.

CARDOSO, D.C. **Aproveitamento de Águas Pluviais em Habitações de Interesse Social – Caso: “Minha Casa Minha Vida”.** Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), 2010. Disponível em: <<http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/DANIEL%20C%3%94RREA%20CARDOSO.pdf>>. Acesso em 15 de novembro de 2012.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **Hidrologia.** São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap7-ES.pdf>>. Acesso em 21 de novembro de 2012.

FARIAS, NARA JULLIANA VIEIRA DE. **Desempenho de filtros lentos, com diferentes períodos de amadurecimento, precedidos de pré-filtração em pedregulho no tratamento de água contendo células tóxicas de *Microcystis aeruginosa*.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

GOMES, A. W. A; FRIZZONE, J. A; NETO, O.R; MIRANDA, J. H. Perda de carga localizada em gotejadores integrados em tubos de polietileno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.435-446, maio/jun. 2010.

JUNIOR M. E.; PÊGO, C. S. Dimensionamento e viabilidade econômica da coleta e uso de águas pluviais no município de Campos dos Goytacazes. **Perspectivas Online**, vol. 3, p. 41-53, 2012.



MELLO, Carlos Rogério de; CARVALHO, Jacinto de Assunção. Análise da equação de perda de carga de Hazen-Williams, associada aos regimes hidráulicos para tubos de PVC e Polietileno de pequeno diâmetro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.247-252, 1998.

MOREIRA, M. A **Equação de Bernoulli da Hidráulica**. 2007. Disponível em: <[http://ltodi.est.ips.pt/mmoreira/PUBLICACOES\\_P/bernoulli\\_2003.pdf](http://ltodi.est.ips.pt/mmoreira/PUBLICACOES_P/bernoulli_2003.pdf)>. Acesso em 09 de fevereiro de 2013.

MURÇA, Mayara Condé Rocha. **Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do Comando da Aeronáutica: aplicação ao caso do PAMA-GL**. São José dos Campos, 2011. Disponível em: <[http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2011/TGIEI\\_007\\_Mayara.pdf](http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2011/TGIEI_007_Mayara.pdf)>. Acesso em 21 de novembro de 2012.

OLIVEIRA, Nancy Nunes de. **Aproveitamento de água de chuva de cobertura para fins não potáveis de próprios da educação da rede municipal de Guarulhos**. Guarulhos, 2008. Disponível em: <<http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/15nancy.pdf>>. Acesso em 21 de novembro de 2012.

PALAZZOLO, F.; FRIGO, E. P.; FRIGO, M. S.; PINTO, M. C. K.; CRISTO, A. P. Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em unidade de conservação: restaurante Porto Canoas no Parque Nacional do Iguaçu. **Varia Scientia Agrárias**, vol. 01, n. 02 , p. 65-78, 2010.

SÃO PAULO, **Lei nº 12.526**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=69472>>. Acesso em 02 de abril de 2012.

SÃO PAULO, **Lei nº 7.663**. São Paulo, 1991. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=18836>>. Acesso em 02 de abril de 2012.



SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DE SÃO PAULO. **Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo**, 1999. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/ecisp/index.htm>>. Acesso em 10 de novembro de 2012.

SOUZA, C. S. **Avaliação do Sistema Adutor Caixa 1 – Caixa 2**: Estudo de caso da adutora principal que abastece os Municípios de Santa Bárbara, Santanópolis, Tanquinho e os Distritos de Tiquaruçú e Maria Quitéria no Município de Feira de Santana. Feira de Santana. 2009.

**SUMÁRIO DE DADOS 2010**. Prefeitura Municipal de São Bernardo do Campo. Disponível em: <[http://www.saobernardo.sp.gov.br/dados1/arquivos/sumariodedados/SBC\\_DADOS\\_Capitulo02.pdf](http://www.saobernardo.sp.gov.br/dados1/arquivos/sumariodedados/SBC_DADOS_Capitulo02.pdf)>. Acesso em 21 de setembro de 2012.

TAJIRI, H. A. C; CAVALCANTI, C.D; POTENZA, J.L. **Caderno de Educação Ambiental - Habitação Sustentável**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente e Coordenadoria de Planejamento Ambiental. 2012.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva: Para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2ª ed. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

TORRES, HANNA MENEZES; MORAES, RITA DE KÁSSIA VALE; JÚNIOR, MARCELO HENRIQUE PEDROSO DA CRUZ. **Filtro para a água da chuva**. 8º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva, Campina Grande – PB, 2012.

VASCONCELOS, L. F; FERREIRA, O. M. **Captação De Água De Chuva Para Uso Domiciliar: Estudo De Caso**. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental Goiânia, 2007. Disponível em: <<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/CAPTA%C3%87%C3%83O%20DE%20C3%81GUA%20DE%20CHUVA%20PARA%20USO%20DOMICILIAR.pdf>>. Acesso em 21 de setembro de 2012.



ZOCOLER, João L.; OLIVEIRA, Luís A.F.; BAGGIO FILHO, Francisco C.; HERNANDEZ, Fernando B.T. **Modelo para Determinação do Diâmetro e Velocidade de Escoamento Econômica em Sistemas Elevatórios de Água.** In: Anais do 3º Congresso Temático de Dinâmica e Controle da SBMAC, UNESP – Campus de Ilha Solteira, 2004.

**Data de Recebimento 11/7/13**

**Data de Aceite 18/9/13**