

## VIABILIDADE ECONÔMICA EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO PARA SISTEMA DE CAPTAÇÃO PLUVIAL EM RESIDÊNCIAS

## VIABILIDAD ECONÓMICA DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO PARA EL SISTEMA DE CAPTACIÓN PLUVIAL EN RESIDENCIAS

Eng. Marcos Silva Costa<sup>1</sup>

Prof. Msc. Mosefran B M Firmino<sup>2</sup>

### RESUMO

Nas últimas décadas é notória a preocupação da população com abastecimento de água. Problemas que antes eram somente de países em regiões áridas do globo, tem se tornado comum em outras regiões e países. Nesta realidade, no Brasil destaca-se a regulamentação da captação de água pluvial na Lei Estadual de São Paulo nº 12.526 de 2007; no Decreto Municipal de Curitiba, Paraná, nº 293 de 2006; Lei Municipal de Florianópolis, Santa Catarina, nº 1.231 de 2014; nas Leis Municipais de Recife, Pernambuco, nº 18.111 e 18.112 de 2015; e na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15.527 de 2007. Este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade econômica e técnica. A aplicação é residencial em estruturas de concreto armado e sistema de captação de água pluvial. Estuda-se em um sobrado a implementação de diferentes volumes de reservatórios. Utiliza-se o método Computacional *Netuno* para definir o volume ideal do ponto de vista ambiental. Em uma segunda etapa, integra o volume hidrológico com o custo arquitetônico existente e reforço estrutural, por meio do Software *AltoQi*. Por fim, é analisado o volume ideal perante o custo estrutural e o retorno econômico pela redução do consumo de água potável. O trabalho mostra um avanço na metodologia em relação às leis e normas vigentes no Brasil.

**Palavras-chave:** Água de chuva. Reutilização. Captação. Custo - benefício. Estrutura de concreto armado.

### RESUMEN

En las últimas décadas, ha sido observada una creciente preocupación de la población en relación al abastecimiento de agua. Problemas que, antiguamente, eran registrados en las regiones áridas del planeta, actualmente son comunes en otras localidades. En este contexto, se destaca la normalización brasilera para captación de aguas pluviales, como por

---

Ex-Aluno UNISAL – Lorena/SP<sup>1</sup>

Professor do Departamento de Engenharia Civil da UNISAL – Lorena/SP e Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC <sup>2</sup>

ejemplo: la Ley Estatal de São Paulo n° 12.526 de 2007; el Decreto Municipal de Curitiba, Paraná, n° 293 de 2006; la Ley Municipal de Florianópolis, Santa Catarina, n° 1.231 de 2014; las Leyes Municipales de Recife y Pernambuco, n° 18.111 e 18.112 de 2015; y la norma de la Asociación Brasileira de Normas Técnicas NBR 15.527 de 2007. Este trabajo tiene como objetivo analizar la viabilidad económica y técnica de la aplicación de estructuras de concreto armado y sistemas de captación pluvial en las residencias. Fue estudiada la implementación de reservorios con diferentes volúmenes en un tejado, utilizando el método computacional “Neptuno” para definir el volumen ideal desde el punto de vista ambiental. En una segunda etapa, fue utilizado el software “AltoQi” para integrar el volumen hidrológico con el costo arquitectónico existente y el refuerzo estructural. Finalmente, fue analizado el volumen ideal en relación al costo estructural y el retorno económico resultante de la reducción del consumo de agua potable. El trabajo constata que es posible avanzar en la metodología de captación de aguas pluviales en relación a las leyes y normas vigentes en Brasil.

**Palabras llave:** Agua de lluvia, reutilización, captación, costo-beneficio, estructura de concreto armado.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional aliado ao mau aproveitamento das fontes naturais vem acarretando um risco eminente à sociedade. A água, um dos bens mais preciosos, está sendo degradado pelo homem, pois seu consumo está sendo superior a capacidade de renovação do ciclo hidrológico.

De acordo com Carvalho JR (2014), atualmente possuímos dois problemas no cenário de desenvolvimento urbano: a escassez de recursos naturais, especialmente da água devido à degradação do meio ambiente e as inundações devido à impermeabilização dos centros urbanos e uma rede pluvial precária.

O presente trabalho tem por objetivo contribuir nos estudos de redução dos

problemas no cenário urbano. Analisa-se a viabilidade econômica em estrutura de concreto armado para implantação de um sistema de captação e armazenamento de água pluvial. Detalha-se o problema em uma residência com economia do consumo de água potável e prática de redução do escoamento superficial na zona urbana. Segundo Carvalho JR (2014), edificações com sistema de aproveitamento de água pluvial pode reduzir até 30% do consumo de água.

O trabalho será desenvolvido em três etapas, a primeira, envolve o dimensionamento do reservatório por meio do Programa Computacional *Netuno*. Utiliza-se entre as variáveis o índice pluviométrico e o consumo da residência. Após avaliação do ponto de vista hidrológico, a segunda etapa

consistiu no dimensionado do reservatório de acordo com a capacidade estrutural da edificação. Com os resultados das etapas anteriores foi definido o custo benefício do sistema de reservação comparando os dois volumes encontradas (volume ideal para a estrutura e o volume que atenda a demanda da residência). Observa-se que a maioria das construções já edificadas não possui capacidade de carga para a instalação de mais um reservatório, sendo necessário um reforço na estrutura existente ou até mesmo a construção de um novo elemento estrutural, obra que impacta na viabilidade do novo sistema. O volume ótimo é o que fornece segurança no volume de água para o abastecimento da residência e não apresente alto custo estrutural.

A terceira e última etapa do trabalho analisa a viabilidade de implantação do novo sistema de captação (armazenamento) e custo arquitetônico e estrutural, assim justificando ou não a implementação do sistema na dimensão ambiental, técnica e financeira.

## **2 TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL**

Diante da escassez mundial de água a população se viu obrigada a procurar meios alternativos para suprir suas necessidades, alguns países iniciaram suas pesquisas ainda em meados do século XX, e outros países como o Brasil, no final do século. A busca

por novas fontes deram origem a estudos sobre tecnologias sustentáveis, como reuso de água pluvial, reuso de águas cinza, entre outras (Amorim e Pereira, 2008).

Em países como Japão e Austrália é bastante utilizado o sistema de captação de água pluvial, mas é a Alemanha que se destaca em captação e em número de pesquisas sobre o assunto, segundo Hafner (2007), a economia do consumo de água potável chega a 40%. Até cidades com baixo índice pluviométrico como Berlim, possuem sistemas de captação de água pluvial.

### **2.1 UTILIZAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL EM UMA RESIDÊNCIA**

O aproveitamento de água pluvial em atividades que não necessitam de água potável pode reduzir significativamente o consumo de água da distribuidora e controlar o escoamento superficial na zona urbana. Segundo Carvalho JR (2014) edificações com sistema de aproveitamento de água pluvial pode reduzir até 30% do consumo de água potável.

O funcionamento do sistema é muito simples: a água captada pelo telhado é conduzida por calhas até tubos de descida onde possui filtros para a retirada de impurezas da água e descarte das primeiras chuvas, depois esta é conduzida e armazenada em reservatórios e cisternas.

Em uma residência essa água não potável pode ser utilizada com diversas finalidades, como: a descarga de bacia sanitária e mictório, a limpeza de pisos e paredes, a rega de jardins, a lavagem de veículos e a água de reserva para combate a incêndio.

Segundo Salla (2013), a viabilidade econômica de implantação do sistema de captação de água pluvial está diretamente relacionada aos custos de construção do reservatório de acumulação.

No Brasil não existe um ordenamento jurídico nacional detalhado sobre o reaproveitamento de água pluvial. Nas leis municipais e estaduais pioneiras são unânimes o aproveitamento pluvial em fins não potáveis, a saber, Lei Estadual de São Paulo nº 12.526 de 2007; o Decreto Municipal de Curitiba, Paraná, nº 293 de 2006; a Lei Municipal de Florianópolis, Santa Catarina, nº 1.231 de 2014; as Leis Municipais de Recife, Pernambuco, nº 18.111 e 18.112 de 2015; e na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 15.527 de 2007.

## **2.2 SISTEMA DE RESERVAÇÃO DE ÁGUA PLUVIAL**

De acordo com as normas brasileiras NBR 15527/07 e NBR 5626/98, reservatórios de água pluvial que são alimentados com

água potável de outra fonte devem possuir dispositivo que impeçam a conexão cruzada. Quando o reservatório atingir sua capacidade máxima a água da chuva pode ser lançada na rede de galerias de águas pluviais, sarjetas das vias públicas ou ser infiltrada total ou parcialmente, desde que não comprometa o lençol freático, a critério da autoridade competente. No Brasil é proibida a ligação de água pluvial na rede de esgoto.

A água de chuva deve ser armazenada em local protegido da incidência direta da luz solar e do calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório através do extravasor, para preservação de suas propriedades físico-químicas.

A norma brasileira NBR 12217/94 orienta na construção de reservatório, que se verifique o impacto decorrente da queda da água no fundo do reservatório vazio. No caso de entrada afogada do reservatório de montante, a canalização deve possuir dispositivo que impeça o retorno da água. A velocidade máxima sugerida na saída do reservatório é de uma vez e meia a velocidade na tubulação da rede principal imediatamente a jusante. Na saída do reservatório deve ser instalada válvula, comporta ou adufa, manobra por dispositivo situado na parte externa do reservatório.

Segundo Lengen (2014), em regiões chuvosas, onde não há períodos de seca, não necessita de grandes cisternas, a água da

chuva pode ser guardada em tanques, caixas d'água ou barris interligados. Os reservatórios podem ser instalados em locais estratégicos da própria residência, locais esse que devem ficar abaixo do teto e acima das áreas de uso, como banheiros e torneiras de jardim, assim não necessita bombear a água para reservatório superior.

Quando se opta por reservatórios enterrados deve se construir uma proteção adicional contra água que escorre superficialmente no solo, lençol freático, contra matérias fecais e contra o próprio solo que circunda o reservatório. A manutenção de reservatório subterrâneo é considerada mais difícil (BERTOLO, 2006).

De acordo com Rupp, Munarim e Ghisi (2011), o dimensionamento da capacidade do reservatório para armazenamento de água pluvial é um dos pontos mais críticos na implementação do sistema de captação de água pluvial, pois:

- O reservatório é o componente mais caro do sistema, impactando significativamente o tempo de retorno do investimento,
- É o principal fator a influenciar a confiabilidade do sistema, pois se mal dimensionado, poderá não atender a demanda.

Segundo a NBR15527/07, há vários métodos de dimensionamento de reservatório de água de chuva: Método de Rippl, Método da Simulação, Método de Azevedo neto, Método prático alemão, Método prático inglês e Método prático australiano. A NBR15527/07 não menciona sobre qual método é mais indicado para cada situação, mas estudos na área (AMORIM e PEREIRA, 2008; BEZERRA et al., 2010; RUPP, MUNARIM e GHISI, 2011; SALLA, 2013), demonstra que cada situação pode ter um método mais eficiente, logo deve se fazer uma comparação entre os métodos em cada projeto para a escolha do mais viável possível.

### **2.3 ANÁLISE DE TRABALHOS REFERENTES À CAPTAÇÃO, ARMAZENAGEM E REUSO DE ÁGUA PLUVIAL EM EDIFICAÇÕES**

Estudos referentes à captação, armazenagem e reuso de água em edificações visam contribuir com a diminuição do uso de água potável, reduzindo o consumo dos mananciais superficiais e aquíferos.

O alto custo inicial do sistema de captação se deve ao tipo de sistema de armazenagem da água pluvial. Amorim e Pereira (2008); Bezerra *et al.*, 2010; Rupp, Munarim e Ghisi (2011); Salla (2013)

investigam qual seria o método mais econômico e eficiente para o dimensionamento do reservatório.

Amorim e Pereira (2008) realizou um estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizando aproveitamento de água pluvial. O trabalho se baseou em um estudo de caso em um prédio composto por dois pavimentos com uma área construída de 1363 m<sup>2</sup> localizada no campus da Universidade Federal de São Carlos. A captação tem como objetivo armazenar água pluvial para lavagem dos ambientes e rega de jardim.

O trabalho de Bezerra *et al.* (2010) também analisou o dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva, comparando entre os métodos propostos pela NBR 15527/07 e o Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, Paraná. Para comparação foram estudadas cinco edificações, sendo três edifícios residenciais, um edifício comercial e uma residência unifamiliar. Todos já construídos e com sistema de captação, reservação e reuso de água de chuva.

O resultado mostrou discrepância entre os métodos. A autora sugere que a diferença entre os métodos calculados é devida às ambiguidades na apresentação de variáveis da norma NBR 15527/07 e à falta de incógnitas (índice pluviométrico, área de

captação e demanda para água da chuva) na equação do Decreto Municipal de Curitiba.

Concluiu-se do trabalho que o dimensionamento não deve levar em consideração somente o consumo, mas também a frequência e intensidade pluviométrica da região, durante o período de um ano e o custo da construção.

Outro artigo interessante na área de armazenamento de água pluvial é o Rupp, Munarim e Ghisi (2011), cuja finalidade do trabalho é a comparação entre o programa computacional *Netuno* e os diversos métodos de dimensionamento de reservatório sugeridos pela NBR 15527/07. Foram consideradas três cidades com diferentes índices pluviométricos (Santos, Palhoça e Santana do Ipanema). O programa *Netuno* é o único método que considera com ou sem o reservatório superior. Portanto, quando se comparou o programa computacional com os outros métodos, utilizou-se somente reservatório inferior.

O trabalho concluiu que alguns métodos da NBR 15527/07 não são indicados para alguns índices pluviométricos, podendo subdimensionar ou superdimensionar o reservatório de água pluvial. Rupp, Munarim e Ghisi (2011) também explica que os métodos da NBR 15527 não levam em consideração no dimensionamento do reservatório de água pluvial o potencial de economia de água potável, variável que o

método *Netuno* leva em consideração. Portanto, verificou-se que o método computacional foi o único que apresentou um dimensionamento de reservatório ideal para todas as cidades, analisando alta, média e baixa precipitação pluviométrica.

Existem vários trabalhos sobre reuso de água pluvial em espaços públicos. O artigo Salla (2013), por exemplo, estudou a viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis, na Universidade Federal de Uberlândia.

Foram feitos dois tipos de análise, sendo um quantitativo e outro qualitativo. O método utilizado para o dimensionamento do reservatório superior foi o programa computacional *Netuno*, o qual forneceu volumes menores em comparação a métodos propostos na NBR 15527/07, com um potencial de economia de água potável entre 18,2% e 53,2%.

Concluiu-se que, naquela localidade, quando descartado os primeiros 2,5mm de chuva e acúmulo de água por 10 dias, os parâmetros da água estavam dentro da faixa recomendada pela norma NBR 15527/07 e o índice pluviométrico da região correspondeu com ao aspecto quantitativo.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A análise de viabilidade econômica em estrutura de concreto armado com sistema de captação de água pluvial foi aplicada em uma residência de dois pavimentos no município de Guaratinguetá, São Paulo, Brasil. A escolha do local (estudo de caso) foi devido à precipitação de 1567,04 mm ao ano, fonte do Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo - DAEE/SP, ser próxima a precipitação média brasileira de 1797 mm ao ano (ANA,2005). Para o dimensionamento foi utilizado o programa *Netuno* para dimensionamento ótimo do ponto de vista ambiental.

Para atender ao objetivo proposto, a metodologia está dividida em quatro subseções. A primeira define o dimensionamento ótimo do ponto de vista ambiental. A segunda subseção traz a definição do projeto hidráulico. A terceira subseção traz informações da arquitetura da residência. Na quarta subseção são apresentados os conceitos e os números da estrutura de concreto armado.

#### 3.1 PROGRAMA COMPUTACIONAL NETUNO

O *software Netuno* foi desenvolvido durante o trabalho de mestrado do Eng. Vinicius Luís Rocha na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) realizado sob orientação do prof. Enedir Ghisi.

Segundo Rocha (2009), autor do programa, o reservatório é o ponto mais crítico do sistema de captação e reservação de água pluvial, pois se for superdimensionado, ficará grande período ocioso, ou se for subdimensionado será ineficiente. No entanto a poucos trabalhos abordam o dimensionamento de reservatórios.

Rocha (2009) utilizou uma residência em Florianópolis, denominada Casa Eficiente para realizar suas pesquisas. A casa possui um sistema de captação, o qual possui um dispositivo para a separação de impurezas, como folhas, gravetos, entre outros. Após o dispositivo de captação a água pluvial é encaminhada para um ou mais reservatórios.

De acordo com Rocha (2009), o consumo de água não potável varia de 19% a 55% do volume total de água gasto na edificação, dependendo de vários fatores, como: dispositivos hidráulicos utilizados, localização da edificação, aspectos sociais e sócios econômico dos moradores. Regiões com chuvas regulares e bem distribuídas ao longo do tempo implicam em reservatórios menores, estes por sua vez facilitam a integração com a estrutura da edificação, menor custo de implantação e armazenamento de água pluvial por menor tempo, o qual resulta em uma qualidade melhor.

Rocha (2009) destaca a importância do coeficiente de aproveitamento de água pluvial, devido à perda por evaporação e absorção de telhado o volume armazenado é menor que o precipitado. No Brasil este coeficiente é entre 0,8 à 0,9, ou seja, a uma perda entre 20 à 10% do volume captado.

Segundo Rocha (2009), o Programa *Netuno* é um modelo comportamental e foi desenvolvido para estimar o potencial de economia de água potável quando possuem aproveitamento de água pluvial na residência. As variáveis que são a entrada de dados no programa computacional são: precipitação pluviométrica (série histórica), demanda de água potável, demanda de água pluvial, volume do reservatório, área de captação e coeficiente de aproveitamento de água pluvial.

Os cálculos do Programa *Netuno* são realizados por algoritmos, o qual recebem os dados de precipitação diária. No período analisado, a água pluvial captada do telhado, menos as perdas por absorção, evaporação e descarte inicial, abastece o reservatório. Se o volume captado da precipitação é maior que o volume do reservatório e maior que a demanda, o excedente é extravasado, caso contrário, a demanda de água pluvial é atendida parcialmente ou totalmente pela rede concessionária local.



### 3.2 DEFINIÇÃO DA HIDRÁULICA DA RESIDÊNCIA

Segundo Botelho e Ribeira (2014), edificação de padrão luxo tem um alto consumo de água potável, 300 litros/ dia per capita, consumo superior a edificações de padrão médio e popular, portanto, a contribuição do sistema de reuso em residências de padrão de luxo pode ser economicamente mais viável.

Para o dimensionamento do reservatório foi aplicado o programa computacional *Netuno*, com a inserção de

dados pluviométricos da estação denominada Fazenda Natal, localizada na latitude - 22,783556 S e longitude -45,350250 W a uma altitude de 580 metros em relação ao nível do mar de propriedade e operação da DAEE/SP. Utilizou-se uma série de dados pluviométricos mensais entre os anos de 1959 a 1997 devido a sua continuidade. A estação pluviométrica está situada aproximadamente 16,02 quilômetros da residência em estudo, com uma diferença de altitude de 10 metros. A média desses valores pluviométricos é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1 - Precipitação em Guaratinguetá - SP**  
**Valores médios entre os anos 1959 a 1997**

Precipitação Mensal (mm)	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
	263	215	210	88	57	38	29	34	75	141	174	241

Fonte: DAEE/SP.

### 3.3 DEFINIÇÃO DE ARQUITETURA

O projeto arquitetônico possui a garagem e hall de acesso, com nível +1,50m em relação a rua, possuirá uma torneira de água não potável para lavagem do piso, dos automóveis e irrigação do jardim. No nível +5,00m em relação a rua, encontra-se dois lavabos compostos por bacias sanitárias com caixas acopladas que serão abastecidas com água pluvial e a área de estudo para a base do reservatório elevado. No nível +8,50m em relação a rua, encontra-se três banheiros compostos por bacias sanitárias com caixas

acopladas que serão abastecidas com água pluvial.

A residência é composta por garagem para dois veículos, área de lazer, lavanderia, despensa, cozinha, lavabo, escritório, salas de jantar, TV e estar, duas suítes, suíte *máster* e *closet*, totalizando uma área de 359,24m<sup>2</sup> (trezentos e cinquenta e nove metros e vinte e quatro decímetros quadrados) construídos. A habitação é destinada para cinco moradores.

Foi definido que será coletada a água pluvial do telhado (pavimento superior) com área de 108,71m<sup>2</sup> (cento e oito metros e

setenta e um decímetros quadrados) para o abastecimento do reservatório elevado.

Análise da locação do reservatório é de suma importância para o funcionamento adequado do sistema, pois quanto mais próximo da captação e dos componentes que serão alimentados, menores serão as perdas em tubulações, menores consumo de materiais, entre outros. Outro aspecto que deve ser considerado é a preservação do *layout* e arquitetura do ambiente.

### **3.4 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO PARA SUPORTE DO RESERVATÓRIO**

Foi definido que o local de estudo (estrutura de suporte do reservatório) será construído sobre um lavabo, devido sua posição estratégica, ao lado do telhado de captação, próximo ao *shaft* que facilitará a passagem de tubulações e próximos dos sanitários que serão os componentes que mais consumirão a água de reuso.

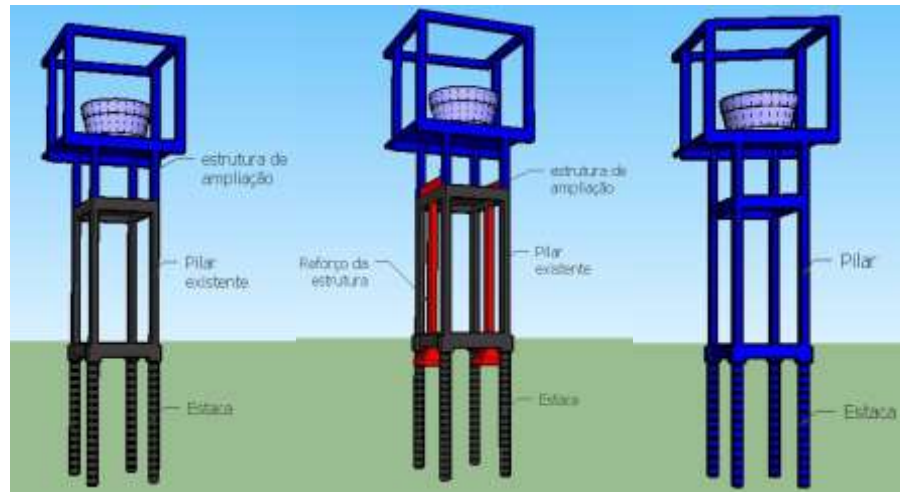
Para o local escolhido, foram propostas três situações para análise da estrutura, de acordo com os volumes dos reservatórios (100L à 10.000L), portanto diferentes carregamentos na estrutura. A

primeira situação foi a elevação da estrutura de concreto armado sobre o lavabo, sem a necessidade de reforço na estrutura existente (Figura 1 - 1º Caso). A segunda situação, além da elevação da estrutura foi necessário um reforço estrutural do lavabo (base da estrutura do reservatório), inclusive reforço da fundação (Figura 1 - 2º caso). A terceira e última situação, é o cálculo de uma nova estrutura de concreto armado, desde a fundação até a cobertura do reservatório (Figura 1 - 3º caso). Todas as situações foram utilizado o *software* Eberick V10 da empresa AltoQi para o dimensionamento da estrutura de acordo com as normas NBR 6118/14 e NBR 6120/80.

A ideia de elevar o reservatório de armazenamento de água não potável surgiu da necessidade de evitar o custo com o bombeamento e minimizar custo com a manutenção do sistema, pois, quando se tem um reservatório elevado, simplesmente com a força da gravidade (pressão manométrica) pode abastecer os pontos de utilização.

O calculo foi aplicado para reservatório de capacidade de 100, 250, 310, 500, 750, 1.000, 1.500, 2.000, 3.000, 5.000, 7.500, 10.000 litros encontrados no comércio varejista.

**Figura 1 – Layout da Estrutura da residência em três situações: 1º Caso, 2º Caso e 3º Caso**



Fonte: Autor

#### 4 RESULTADO

Os resultados são descritos em três categorias: resultado ideal do ponto de vista ambiental; o segundo implica na solução do ponto de vista estrutural; e o último a análise do retorno financeiro.

##### 4.1 RESULTADO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO PELO MÉTODO COMPUTACIONAL *NETUNO*

Para o dimensionamento do reservatório ideal<sup>3</sup> do ponto de vista hidrológico foi aplicado o programa computacional *Netuno*, conforme mencionado no item 3.1. Foram inseridas as seguintes variáveis com os seus respectivos valores:

- Precipitação pluviométrica do local (14152 números de registros inseridos na base do *software*);
- Número de moradores, (considerou-se 5 moradores);
- Área de captação (108,71m<sup>2</sup> de telhado);
- Descarte do escoamento inicial da chuva (0,4mm);
- Demanda total de água (300 litros per capita/ dia/ habitante);
- Coeficiente de escoamento superficial (0,9 para telhados);
- Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial (22%).

Usando o mesmo critério de Siqueira (2016), adota-se 3 descargas/ dia/ per capita,

<sup>3</sup> Ideal neste contexto é aplicado a demanda e disponibilidade hídrica.

considerando 6,8 litros por descarga obtém-se um total de 20,4 litros/hab./ dia.

De acordo com Botelho e Ribeira (2014), utiliza-se 1,5 litros/ dia/ m<sup>2</sup> para rega de jardins, consumindo 85,05 litros/ dia ou 17,02 litros/ hab./ dia para irrigar os 56,72m<sup>2</sup> de jardins. Outro uso da água não potável é a lavagem de veículos, consideraram-se dois automóveis na residência, maximizando o uso da garagem. Sendo os dois veículos lavados uma vez por semana, com um consumo de 150 l/ por veículo, ou seja, representa um consumo de 8,57 litros/ hab./ dia. Por fim, considerou-se 100 litros diários de água não potável para a limpeza da residência, ou seja, 20l/ dia/ hab.

Conclui-se que cada pessoa poderá consumir 65,99 litros/ dia de água não potável, ou seja, 22% da demanda total de água. Por meio do lançamento da precipitação diária obteve os seguintes resultados apresentados na Tabela 2.

Por meio do software *Netuno* obteve-se o reservatório ótimo do ponto de vista hidrológico de 750 litros, o qual fornecera 8,68% da água consumida na residência. Este volume corresponde uma média de 41,14% de todo consumo de água não potável, ou seja, o reservatório tem a capacidade de fornecer diariamente 135,74 litros de água não potável, exceto em períodos de março a julho.

**Tabela 2 - Resultado mensal da Simulação**

Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (L)	Volume consumido de água potável (L)	Volume extravasado (L)	Atendimento Completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)
<b>Jan.</b>	55,44	182,94	147,01	486,36	49,45	16,05	34,49
<b>Fev.</b>	35,97	118,70	211,25	258,90	30,13	17,15	52,72
<b>Mar.</b>	24,87	82,05	247,90	139,53	20,26	13,23	66,50
<b>Abr.</b>	19,68	64,92	265,03	105,29	16,07	10,94	72,99
<b>Mai</b>	14,08	46,45	283,50	54,21	10,50	9,02	80,48
<b>Jun.</b>	21,20	69,95	260	139,36	17,26	12,05	70,68
<b>Jul.</b>	30,22	99,71	230,24	194,26	24,81	14,47	60,71
<b>Ago.</b>	41,17	135,84	194,11	302,41	34,82	16,79	48,39
<b>Set.</b>	54,16	178,69	151,26	401,50	46,19	20,02	33,79
<b>Out.</b>	63,86	210,71	119,24	586,23	57,47	17,06	25,47
<b>Nov.</b>	69,77	230,20	99,75	630,93	63,51	16,14	20,35
<b>Dez.</b>	62,73	206,98	122,97	563,61	57,13	15,79	27,08
<b>Média</b>	41,14	135,73	194,22	322,43	35,52	14,87	49,61
<b>Total ano</b>		49541	70891	117686			

Fonte: Autor

No ano estima-se um consumo de 49.541 litros de água não potável fornecido pelo reservatório elevado, e extravasado do

reservatório um volume de 117.686 litros durante os períodos de chuvas intensas.

Nesta situação, a partir do volume de 750 litros a taxa de variação instantânea do

porcentual de economia de água potável seria muito pequena com o aumento do volume do reservatório.

A Tabela 3 compara diferentes volumes de reservatórios e seus potenciais de utilização de água pluvial.

**Tabela 3** - Comparação entre os reservatórios

<b>Volume do reservatório</b>	<b>Potencial de utilização de água pluvial (%)</b>	<b>Completamente (%)</b>	<b>Parcialmente (%)</b>	<b>Não Atende (%)</b>
<b>100</b>	10,35	0	35,68	64,32
<b>250</b>	23,39	0	35,68	64,32
<b>310</b>	28,01	0	35,68	64,32
<b>500</b>	35,39	25,92	18,52	55,56
<b>750</b>	42,28	36,04	14,63	49,32
<b>1000</b>	47,34	42,65	12,48	44,87
<b>1500</b>	54,35	49,21	10,10	40,69
<b>2000</b>	59,08	55,33	8,30	36,36
<b>3000</b>	64,97	61,99	6,31	31,70
<b>5000</b>	70,27	67,88	4,87	27,25
<b>7500</b>	73,42	71,36	4,13	24,51
<b>10000</b>	75,73	73,85	3,75	22,40
<b>64000</b>	99,44	99,40	0,09	0,51

Fonte: Autor

#### **4.2 RESULTADO DO DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO PARA SUPORTE DO RESERVATÓRIO.**

A estrutura existente (conforme projeto estrutural cedido pelo proprietário) foi analisada com apoio do *software* da AltoQI (Eberick V10). Foram analisados diversos volumes de reservatórios, notou-se que reservatórios acima de 3000L se tornam mais difícil a sua aplicação no projeto em estudo, não somente pelo fato do

DO carregamento ser maior, mas pela área DA ocupada por este reservatório, sendo necessário um ambiente maior, pois deve considerar além do reservatório, um espaço no entorno do mesmo, para instalação, manutenção e limpeza. Verificou-se que reservatórios a partir de 5000L exige adição de aço em dois pilares existentes, situação que há solução, mas onera a obra. Na Tabela 4 estão os resultados dos dimensionamentos com diversos volumes de reservatórios estudados e suas influências na estrutura.

**Tabela 4** - Materiais para ampliação da estrutura de concreto armado

Vol. do reservatório (L)	Aço - CA 50 (Kg)	Aço - CA 60 (Kg)	Volume de concreto (m <sup>3</sup> )	Área de forma (m <sup>2</sup> )	Observação
100	79,30	31,70	1,62	26,81	
250	133,20	49,10	2,83	35,96	Laje maciça
310	129,30	49,50	2,83	35,96	Laje maciça
500	91,20	50,30	2,57	32,53	
750	101,20	49,70	2,72	34,00	
1000	97,20	49,10	2,78	34,52	
1500	107,80	52,70	3,06	37,55	
2000	133,90	60,60	3,45	43,73	
3000	175,60	87,70	4,41	55,77	
5000	258,40	75,70	4,37	53,15	
7500	402,00	99,30	6,73	68,76	
10000	542,80	134,20	8,72	86,95	

Fonte: Autor

### 4.3 ANÁLISE DO PROJETO DE INVESTIMENTO

Foi realizada uma análise da viabilidade econômica do sistema de captação, armazenamento e distribuição da água não potável, para isto ocorrer, foi necessário quantificar o material e mão de obra na execução do projeto com base na SINAPI 2017 (Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da construção Civil).

Para quantificar material e mão de obra primeiramente foi necessário definir o volume do reservatório e escolher as alterações pertinentes na estrutura de concreto armado. A Tabela 5 mostra a comparação entre o custo de cada estrutura em relação ao potencial útil de cada

reservatório dimensionado pelo programa computacional *Netuno*.

Chegou-se a conclusão que o reservatório com volume de 2000 L é ideal do ponto de vista de otimização de custos estruturais para a residência em questão, podendo utilizar a estrutura existente, realizando somente uma ampliação acima da laje do lavabo e um reforço na fundação para diminuir o deslocamento horizontal devido os esforços ocasionados devido aos ventos. Pode-se observar que a razão entre o potencial de utilização e o valor da ampliação da estrutura aponta o reservatório de 2000 L como o mais satisfatório para este estudo.

O custo da estrutura de concreto armado para suporte do reservatório de capacidade de 2000 litros é de R\$ 10.028,58 reais (SINAPI, 2017). Acrescentaram-se também as despesas da instalação da

tubulação de água pluvial, R\$ 1963,38. Outra útil do mesmo e para manter a qualidade da despesa que se deve considerar é a água pluvial exigida pela Vigilância manutenção do sistema para aumentar a vida Sanitária.

**Tabela 5 - Comparação (Valor x Potencial de Utilização)**

<b>Vol. do reservatório (L)</b>	<b>Valor (R\$)</b>	<b>Potencial de Utilização</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Coefficiente (x1.000.000)</b>
100	6706,25	10,35	0,0015	1543
250	7769,81	23,39	0,0030	3010
310	7772,81	28,01	0,0036	3604
500	7391,71	35,39	0,0048	4788
750	8179,38	42,28	0,0052	5169
1000	8380,14	47,34	0,0056	5649
1500	9725,94	54,35	0,0056	5588
2000	10028,58	59,08	0,0059	5891
3000	12849,34	64,97	0,0051	5056
5000	14259,12	70,27	0,0049	4928
7500	18355,16	73,42	0,0040	4000
10000	21792,16	75,73	0,0035	3475

Fonte: Autor

Considerando o reservatório de 2000 litros para água de reuso, segundo o *software* computacional *Netuno* haverá uma economia de 59,08% dos 65,99 litros *per capita*, resultando em 194,93 litros diário ou 38,99 litros per capita. Uma economia de 5848,03 litros/ mês (5,85 m<sup>3</sup>/ mês).

O valor gasto no projeto foi comparado com economia da conta de água

da distribuidora de água potável do município, no caso a SAEG (Companhia de Serviços de Água, Esgoto e Resíduos de Guaratinguetá), permitindo analisar a viabilidade econômica do projeto.

O presente trabalho se enquadra na categoria residencial, os preços são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 - Categoria Residencial**

<b>Consumo</b>	<b>Água</b>	<b>Esgoto</b>
00 a 10 m <sup>3</sup>	17,134	13,708
11 a 20 m <sup>3</sup>	2,349	1,88
21 a 50 m <sup>3</sup>	3,94	3,151
51 a 500 m <sup>3</sup>	6,447	5,158
Acima de 501 m <sup>3</sup>	Grande consumidor	

Fonte: SAEG, 2016

Sendo 300 litros per capita (5 habitantes na residência) resultando um consumo de 45000 litros/ mês (45 m<sup>3</sup>/ mês). Segundo preços tabelados (2017) pela empresa SAEG (Companhia de água e esgoto de Guaratinguetá) o volume gasto gera um valor de R\$ 326,47 reais mensais.

Aplicando a economia de 5,85 m<sup>3</sup>/ mês, o volume mensal total utilizado reduz para 39,15 m<sup>3</sup>/ mês, custo de R\$ 275,10 reais mensais. Nota-se que ao diminuir o consumo de água também reduz a taxa de esgoto e resíduos sólidos, pois são cobrados em relação ao volume gasto de água potável. A economia mensal é de R\$ 51,37 reais ou R\$ 616,44 reais anual.

Para estudar a viabilidade da estrutura de concreto armado pesquisou-se a vida útil dos materiais empregados. Segundo a NBR 6118/2014 não existe um tempo mínimo ou máximo de vida útil para o concreto armado, mas depende de diversos fatores como: dimensionamento correto da estrutura, inclusive o cobrimento da armadura, execução da estrutura, manutenção da mesma. Há estrutura de concreto armado no Brasil com mais de 100 anos que evidencia essa longa vida útil quando respeitada as normas pertinentes.

Houve dificuldades em estimar a vida útil das tubulações e reservatório, pois as normas pertinentes mencionam que essa

informação deve ser fornecida pelos fabricantes, esses por sua vez também não fornece essas informações em catálogos de produtos, mas somente o tempo de garantia. Segundo a fabricante de tubos, conexões e reservatórios (Amanco), pode se considerar 50 anos de vida útil do sistema, desde que seja seguida toda a recomendação de instalação e manutenção.

Admitiu-se 50 anos de vida útil para o sistema, para então definir ou não a viabilidade do projeto. Além da vida útil, foi necessário também quantificar o custo de manutenção do sistema.

Considerou-se o valor somente da limpeza e desinfecção anual do reservatório, pois o projeto inicial já contemplava o sistema de calhas, condutores verticais e horizontais, logo independente da captação de água pluvial, a edificação já possui esta despesa. Devido a SINAPI não possuir o valor de limpeza dos reservatórios, foi pesquisados em três empresas distintas da região que prestam este serviço, logo realizou-se a média dos três valores, o qual resultou em um custo de R\$ 211,67.

Para o estudo da viabilidade econômica utilizou-se a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia) do Banco Central do Brasil, a qual está em 8,15% a.a., consulta efetuada em nove de setembro de 2017.



A análise da viabilidade econômica aplicada a taxa Selic, valor do investimento da estrutura de concreto armado e hidráulica, manutenção do reservatório (limpeza anual) e vida útil de 50 anos, para o reservatório de 2000 litros.

O valor presente líquido é menor que 0 (-R\$ 7.124,25) e a taxa interna de retorno (TIR = 2,28% a.a.) apresentou-se menor que taxa mínima de atratividade (SELIC = 8,15% a.a.), resultando na inviabilidade econômica do projeto.

Devido as variações anuais de taxas (SELIC, por exemplo), fez cenários para avaliar as futuras projeções para os próximos 50 anos.

Pode-se concluir que ao considerar a taxa SELIC de 2% a.a o projeto se torna viável e as demais taxas de 5%, 8,15% e 11% continuam inviável. Identificou-se que a viabilidade do projeto depende de taxas futuras podendo viabilizar economicamente o projeto ou não.

## 5 CONCLUSÃO

Atualmente, é indiscutível a viabilidade ambiental do sistema de captação de água pluvial em residências unifamiliares, pois reduz o consumo de água potável das fornecedoras, bem como as enchentes e inundações durante chuvas intensas. Porém, não significa que a mesma é viável

economicamente. Apesar das leis pioneiras no Brasil representarem um avanço, a relação de balanço demanda e oferta pode não representar e contemplar a necessidade do usuário do imóvel.

O presente trabalho analisou uma residência (projeto arquitetônico e estrutural) de alto padrão de consumo com cinco moradores e concluiu que, quando se estuda somente o reservatório, para captação de água pluvial, pode-se encontrar um volume ideal do ponto de vista hidrológico, mas nem sempre este volume ideal é o mais viável em relação a estrutura de concreto armado que suporta o reservatório (quando este é elevado).

Verificou-se durante o desenvolvimento do trabalho uma mudança na percepção em relação ao modelo estrutural. De acordo com Bezerra *et al.* (2010), Rupp, Munarim e Ghisi (2011), e Salla *et al.* (2013) a variável de maior peso é a estrutura, mas durante o estudo a variável que mais destacou-se foi o espaço físico ocupado pelo reservatório, o qual além de ocupar uma determinada área, deve-se deixar livre um espaço mínimo de 60cm ao seu entorno para futuras manutenções e livre de contato direta com o armazenamento de água potável da concessória local, influenciando diretamente no modelo arquitetônico.

Para análise do volume do reservatório utilizou-se o software *Netuno*,

inserindo neste os dados pluviométricos do DAEE do município de Guaratinguetá, no estado de São Paulo. Por meio de cálculos, chegou-se a um volume ótimo do ponto de vista hidrológico de 750L, potencial útil de 8,68% (137,74L) em relação ao volume total de água potável consumida na residência, mas, quando se analisou a estrutura de concreto armado existente com suas propostas de ampliações, percebeu-se que o volume 2000L poderia ser mais viável, pois seu potencial útil é de 13% (194,96L) do volume total de água potável, é maior que o potencial útil do volume de 750L. Para análise da viabilidade do volume do reservatório, fez-se a razão entre o potencial útil e o valor do investimento na estrutura, a resultante dos reservatórios de capacidade de 750L e 2000L foi um coeficiente de 0,0052 (42,28% potencial de utilização) e 0,0059 (59,08% potencial de utilização) respectivamente, comprovando a viabilidade do reservatório de capacidade de 2000L. Para confirmar a hipótese analisaram-se também os seguintes volumes: 100 L, 250L, 310L, 500L, 1000L, 1500L, 3000L, 5000L, 7500L e 10000L. Logo, concluiu-se que o reservatório de 2000L é o ideal para aplicação do recurso financeiro, e para sua implantação foi necessário a ampliação da estrutura e um reforço na fundação, para combater os deslocamentos influenciados pelos efeitos do vento. Também concluiu-se

que as estruturas não possuem alterações significantes até o volume de 3000L, ou seja, o investimento na estrutura, basicamente, é ampliação da mesma, exceto fundação.

O trabalho foi concluído com o estudo de viabilidade econômica para reservação de água pluvial. Realizou-se uma estimativa do consumo de água potável na residência, totalizando 45m<sup>3</sup>/ mês, a qual gera um custo de R\$326,47. Com a utilização do reservatório de armazenamento de água pluvial de 2000L consegue-se uma economia de 5,83m<sup>3</sup> de água potável e redução de R\$ 51,37 reais mensais ou R\$ 616,44 reais anuais. Deste valor anual descontou-se a despesa com a manutenção do sistema (R\$ 211,67). O investimento inicial é de R\$ 11.991,96, sendo R\$ 10.028,58 da estrutura de concreto armado e R\$ 1963,38 da tubulação de hidráulica. Para analisar a viabilidade do projeto adotou-se a taxa da SELIC como sendo a taxa mínima de atratividade, a qual está em 8,15% a.a. segundo Banco Central do Brasil (2017).

No entanto, quando se analisou a viabilidade econômica do projeto durante sua vida útil de 50 anos, concluiu-se que este não é viável economicamente no cenário atual, apontado pelo valor presente líquido descontado, menor que zero (-R\$7.124,25) e taxa interna de retorno 2,28 a.a. apresentou-se menor que a taxa mínima de atratividade. Podem-se destacar alguns fatores que

resultaram nesta conclusão: investimento inicial elevado em relação ao baixo custo por m<sup>3</sup> de água potável fornecida pela distribuidora de água potável da região e altas taxas de juros no Brasil.

Devido às alterações anuais das taxas no mercado, inclusive a taxa SELIC, foi analisado um cenário com diferentes taxas que poderão ocorrer nos próximos 50 anos. Verificou-se que taxas com 2% a.a. se torna viável o projeto, já as taxas 5%, 8,15 e 11% continua inviável. Pode-se concluir que a viabilidade econômica dependente de taxas econômicas futuras e o valor da água como insumo para a população, podendo ter um retorno econômico maior do que na atualidade.

## REFERÊNCIAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12217: Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12721: Avaliação de custos unitário de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios - Procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 91p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 8p.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118: Projeto de estrutura de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238p.

AMORIM, Simar; PEREIRA, Daniel. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Artigo Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol.8, n<sup>o</sup>2, p.53- 66. 2008.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Relatório de conjuntura dos recursos hídricos traz balanço da situação e da gestão das águas no Brasil**, 2005.

Disponível em: <[www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id\\_noticia=1233\\_65](http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=1233_65)>. Acesso em 10/01/2017.

BERTOLO, Elizabete de Jesus Peres. **Aproveitamento da água da chuva em edificações**. 2006. 174p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal, 2006.

BEZERRA, S. M. da C.; CHRISTAN, P. de; Teixeira, C. A.; FARAHBAKHS, K. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Artigo Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol.10, n<sup>o</sup>4, p.219-231. 2010.

BOTELHO, M.H.C. e RIBEIRO, G. A. Jr. **Instalações Hidráulicas Prediais utilizando tubos plásticos**. 4<sup>o</sup> Edição. São Paulo: Blucher, 2014.

CARVALHO Jr, Roberto de. **Instalação Prediais Hidráulica - Sanitárias**. Editora Blucher, 2014.

CURITIBA. Decreto n<sup>o</sup> 293, de 22 de março de 2006. Regulamenta a Lei n<sup>o</sup> 10.785 de 2003 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações

e dá outras providências. Curitiba, 22 de março de 2006.

HAFNER, Ana. **Conservação e reuso de água em edificações – Experiência Nacionais e Internacionais**. 2007. 177p. Dissertação (Mestrado em ciência em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

LENGE, Johan Van. **Manual do Arquiteto Descalço**. 1. Ed. São Paulo: B4, 2014. 610 p.

ROCHA, Luís. **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**. 2009. 149p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

RUPP, Ricardo; MUNARIM, Ulisses; GHISI, Eneidir. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Artigo Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol.11, n°4, p.47-64. 2011.

SAEG: banco de dados. Disponível em: <<http://www.saeg.net.br/atendimento/tarifas>>, Acesso em: 15 agos. 2017.

SALLA, M. R.; LOPES, G. B.; PEREIRA, C. E.; MOURA NETO, J. da C. M.; PINHEIRO, A. M.. Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade. **Artigo Ambiente Construído**, Porto Alegre, vol.13, n°2, p.167-181. 2013.

SELIC – Banco Central do Brasil. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdiarios.asp>>. Acesso em: 09/09/2017.

SIQUEIRA, Rafael Dias. **Análise de investimento na captação de água de chuva para reutilização em vasos sanitários nas habitações com dois pavimentos**. 2016. 85p. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – UNISAL, Centro Universitário salesiano de São Paulo, Lorena, 2016.