



INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - ICIAG
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

GUILHERME SANTOS ROZENO

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA
PLUVIAL PARA UMA RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO DA CIDADE DE
UBERLÂNDIA - MG**

Uberlândia - MG

2017

GUILHERME SANTOS ROZENÓ

**DIMENSIONAMENTO DE SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA
PLUVIAL PARA UMA RESIDÊNCIA DE ALTO PADRÃO DA CIDADE DE
UBERLÂNDIA - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia, como parte das
exigências da graduação em Engenharia Ambiental, para
obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Valério Luiz Borges.

Uberlândia - MG

2017

RESUMO

Problemas de escassez da água estão se tornando cada vez mais comuns pelo mundo, e por isso, deve-se buscar novas maneiras de se utilizar a água. Os sistemas de reaproveitamento de água pluvial são uma das maneiras encontradas para se buscar o uso sustentável da água utilizada nas diversas atividades que os seres humanos desempenham diariamente. Este meio, apesar de ainda pouco conhecido pela população, é utilizado em diversos edifícios de várias cidades do mundo, inclusive no Brasil. Para se avaliar a viabilidade de construção de um sistema de reaproveitamento de água pluvial, aplicado a uma residência de alto padrão da cidade de Uberlândia, foram dimensionadas as principais partes constituintes desse sistema: o sistema de filtração, os reservatórios para acumulação da água coletada, o sistema de desinfecção e a bomba para recalque da água, para que assim fosse calculado o volume de água substituído e o custo de implantação do sistema. Os dimensionamentos foram feitos utilizando metodologias já trabalhadas em artigos, normas técnicas e demais documentos. Para o caso tratado neste estudo, com uma quantidade de água potável substituída por água pluvial de aproximadamente 9,5 m³ por mês, o projeto se mostrou inviável para ser aplicado em uma residência apenas devido ao elevado tempo de retorno do investimento, porém, se aplicado em grandes condomínios fechados, este sistema pode ser considerado viável devido ao grande benefício ambiental gerado e ao baixo valor gasto se comparado com o custo total da residência.

Palavras-chave: Água pluvial; Reuso de água; Reservatório de água pluvial;

ABSTRACT

Problems of water scarcity are becoming more and more common in the world, and so we must look for new ways of using water. Rainwater harvesting systems are one of the ways found to seek the sustainable use of water used in the various activities that humans perform daily. This system, although still unknown for the greater part of population, is used in some buildings of several cities of the world, including in Brazil. To evaluate the feasibility of the construction of a rainwater harvesting system applied to a high standard residence in the city of Uberlândia, the main constituent parts of this system were dimensioned: the filtration system, the reservoirs for accumulation of collected water, the disinfection system and the pump for water repression, to calculate the volume of water replaced and the cost of implementing the system. The sizing was done using methodologies already worked on articles, technical norms and other documents. For the case treated in this study, with a quantity of potable water replaced by rainwater of approximately 9,5 m³ per month, the project was not feasible to be applied in one residence only due to the high payback time, however, if applied in large closed condominiums, this system can be considered feasible due to the great environmental benefit generated and the low value spent compared to the total cost of the residence.

Key-Words: Rainwater; Water reuse; Rainwater storage tank;

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 Justificativa	7
2 OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo Geral	8
2.2 Objetivos Específicos.....	8
3 REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1 Reaproveitamento de água pluvial.....	10
3.1.1 REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL NO BRASIL	11
3.2 Qualidade da água armazenada.....	12
3.3 Análise de Estudos Anteriores.....	13
4 METODOLOGIA.....	16
4.1 Área de Estudo.....	16
4.2 Dados Meteorológicos	16
4.3 Dimensionamento do Sistema de Reaproveitamento de Água Pluvial	17
4.3.1 CONSUMO DE ÁGUA	17
4.3.2 FILTRAÇÃO DA ÁGUA	19
4.3.3 RESERVATÓRIO DE ÁGUA PLUVIAL.....	20
4.3.4 DESINFECÇÃO DA ÁGUA	23
4.3.5 BOMBA	24
4.4 Payback	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
5.1 Consumo de Água.....	26
5.2 Filtração da Água	28
5.3 Reservatório de Água Pluvial.....	31
5.4 Desinfecção de Água.....	40
5.5 Bombas	42

5.6 Payback	43
6 CONCLUSÃO.....	47
REFERENCIAS	48
ANEXO A – RESIDÊNCIA UTILIZADA COMO MODELO	55

1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento natural de extrema importância e, segundo Vieira et al. (2014, p. 226, tradução nossa), “as cidades são intrinsecamente dependentes de recursos hídricos e energéticos, assim como qualquer sistema vivo na Terra”. Porém houve um aumento no seu consumo nas últimas décadas e como consequência, diversos países estão passando por problemas de disponibilidade de água.

Portanto é preciso que se reduza o consumo excessivo de água nas atividades desempenhadas pelos humanos, se desenvolva novas tecnologias para locais que se tem utilização da água, se conscientize as pessoas quanto os malefícios que a escassez de água traz, e também se busque maneiras mais eficientes de se recuperar os ecossistemas aquáticos.

A água da chuva tem uma grande importância nos ecossistemas e é a fonte de recarga dos aquíferos subterrâneos, e a sua utilização em substituição ao uso da água tratada para usos não potáveis está sendo utilizada como medida para se buscar a sustentabilidade e enfrentar os problemas de escassez em algumas cidades, como por exemplo algumas cidades do nordeste brasileiro. Sistemas descentralizados, como o sistema de reaproveitamento de água pluvial, podem ser utilizados para se substituir o sistema centralizado atualmente utilizado (AN et al., 2015), e que se mostra insustentável em diversos lugares.

Os sistemas de reaproveitamento de água pluvial hoje em funcionamento geralmente são constituídos de sistemas mais simplificados, com um baixo nível de substituição e uma estruturação mais rústica e simples, tornando o sistema menos atrativo para ser utilizado em larga escala em várias residências do país. Além disso, o custo total da obra também é um empecilho para a utilização deste sistema.

A região sudeste do Brasil, que possui aproximadamente 86 milhões de habitantes segundo projeção feita pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2016), o que representa cerca de 42% da população do país, possui apenas 6% da água disponível do território brasileiro (GHISI, 2006) e, sendo uma das regiões mais desenvolvidas do país, possui um consumo de água elevado, o que pode levar a problemas de escassez de água, como o vivido pela cidade de São Paulo no ano de 2014 por exemplo.

Estes dados mostram a necessidade de se buscar novas maneiras de se pensar a utilização da água nesta região, pois o grande contingente populacional associado ao desenvolvimento da região fazem com que a demanda por água seja bastante alta, porém, não é necessário a utilização de água potável para diversos desses usos, o que torna a reutilização da água pluvial para estes fins uma solução bastante interessante.

Portanto, é preciso que se desenvolva mais estudos sobre a viabilidade da utilização da água pluvial em cidades para substituir os usos menos exigentes da água, e além disso, novas tecnologias devem ser desenvolvidas para que se possa difundir mais esta possibilidade de uso pelo país, o que pode se tornar uma solução, a médio prazo, para diversos problemas relacionados aos recursos hídricos.

1.1 Justificativa

A água é um elemento de extrema importância para a sobrevivência dos seres humanos e funcionamento dos ecossistemas. Ela é utilizada na irrigação, indústria, transporte, entre outras atividades realizadas diariamente, mas, apesar de sua grande relevância, existe um certo descaso quando se trata de sua conservação. Porém, nas últimas décadas, houve um aumento na atenção dada as questões ambientais devido a uma série de problemas gerados como consequência das inúmeras atividades realizadas pelos seres humanos degradadoras do meio ambiente.

Mudanças como as alterações climáticas e o aumento acelerado da população mundial levaram diversos lugares, como por exemplo o Brasil, a enfrentarem problemas de escassez de água pois, mesmo este sendo um recurso abundante em vários lugares do mundo, a quantidade ofertada naturalmente pelas principais fontes utilizadas atualmente no mundo, as águas superficiais e subterrâneas, não é suficiente para suprir a demanda cada vez mais exigente por água nos centros urbanos e rurais.

Portanto, é importante a busca por novas tecnologias para se fazer um manejo mais racional e sustentável dos recursos hídricos disponíveis e diminuir a pressão exercida sobre estes, e uma das maneiras que podem auxiliar na busca por um uso mais responsável deste recurso é a reutilização de água pluvial para fins potáveis e também não potáveis quando possível em ambientes urbanos e rurais e, conseqüentemente, diminuir a demanda de água potável proveniente do abastecimento público.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é projetar um sistema econômica e ambientalmente viável de reaproveitamento de água pluvial para fins não potáveis, com uma implantação harmônica em projetos de construção de residências de alto padrão localizadas na cidade de Uberlândia-MG.

2.2 Objetivos Específicos

- Dimensionamento de um reservatório de água pluvial visando a minimização de custos ao construí-lo;
- Projeto de todo o sistema de bombas necessárias para o transporte de água para a residência;
- Dimensionamento de um filtro de areia e um sistema de desinfecção da água por meio de raios ultravioleta;
- Verificação do tempo de retorno do investimento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A água é um recurso de extrema importância para a vida e funcionamento dos ecossistemas (BOCANEGRA-MARTÍNEZ et al., 2014; MIMURA et al., 2016) e influencia diretamente no desenvolvimento social e econômico de um país (SANTOS; TAVEIRA-PINTO, 2013).

Porém, a escassez desse recurso está sendo enfrentada por diversos países e vem se tornando um grande problema em escala global (LIU et al., 2017). Este problema ocorre devido ao aumento acelerado da população (GHISI; BRESSAN; MARTINI, 2007), urbanização e industrialização (LEE et al., 2016), as mudanças climáticas (MAHMOUD et al., 2014), ao uso e ocupação do solo e a poluição (VIALLE et al.), e assim, se tem uma diminuição da quantidade e qualidade da água disponível e um aumento na sua demanda. Segundo Lee et al. (2016, p. 218, tradução nossa), “a população humana dobrou de 3,9 bilhões para 7,0 bilhões na última década, mas a demanda por água triplicou”.

Portanto, é preciso que se faça um uso sustentável deste recurso, algo que não ocorre na sociedade atual (SAZAKLI; ALEXOPOULOS; LEOTSINIDIS, 2007), para que não se afete a sua disponibilidade em qualidade e quantidade suficientes para as próximas gerações, além do fato de que, conforme o Programa de Avaliação Mundial da Água das Nações Unidas (WWAP) (2015) citado por Silva e Ghisi (2016, p. 82, tradução nossa), “o uso sustentável da água leva a consequências muito além das dimensões sociais, econômicas e ambientais, por ela influenciar na saúde humana, disponibilidade de alimento e energia, desenvolvimento industrial e crescimento da urbanização.”

Neste contexto, alternativas para diminuir o consumo de água, como por exemplo a reutilização e reciclagem de água, diminuição das perdas de água durante o transporte e campanhas educativas, estão sendo utilizadas em alguns setores, como por exemplo em indústrias, na agricultura e em residências (BOCANEGRA-MARTÍNEZ et al., 2014; DWORAK et al., 2007 apud SILVA; SOUSA; CARVALHO, 2015).

Para se fazer uso de um sistema alternativo como fonte de água é preciso ter conhecimento sobre a complexidade de sua infraestrutura e também da disponibilidade da fonte de água (AN et al., 2015). Alternativas para o sistema centralizado de distribuição de água como o uso de água pluvial, reuso de águas cinzas e dessalinização também são maneiras de se diminuir a demanda de água potável e aumentar a eficiência do seu uso (OKOYE; SOLYALI; AKINTUĞ, 2015; SANTOS; TAVEIRA-PINTO, 2013; STEC; KORDANA, 2015; WARD et

al., 2012), dentre estes, o armazenamento e utilização de água pluvial é o modelo de maior aceitação (OKOYE; SOLYALI; AKINTUĞ, 2015; PALLA et al., 2012).

3.1 Reaproveitamento de água pluvial

O reaproveitamento de água pluvial não é uma prática atual, segundo Gikas e Tsihrintzis (2012) e Prinz (1996), Oweis et al. (2001), citados por Mahmoud et al. (2014), o armazenamento de água pluvial para usos potáveis e não potáveis já foi utilizado por civilizações antigas, e hoje, devido as condições de escassez de água, este sistema é considerado por vários países como uma alternativa ao uso da água potável (GHISI, 2006).

É possível encontrar estudos sobre o tema de reuso de água pluvial em países como Reino Unido (WARD; MEMON; BUTLER, 2012), Bangladesh (AKTER; AHMED, 2015), Taiwan (CHIU; LIAW; TSAI, 2009), China (ZHANG et al., 2009), Austrália (PETERSON, 2016), Malásia (LEE et al., 2016), Portugal (SILVA; SOUSA; CARVALHO, 2015), Brasil (GHISI, 2006), Alemanha (HERRMANN; SCHMIDA, 2000), Singapura (APPAN, 2000), Zâmbia (HANDIA; TEMBO; MWINDWA, 2003), Polônia (STEC; KORDANA, 2015), Estados Unidos (THOMAS et al., 2014), Japão (ZAIZEN et al., 1999), França (VIALLE et al., 2015), África do Sul (MWENGE KAHINDA; TAIGBENU, 2011), Jordânia (ABDULLA; AL-SHAREEF, 2009), Namíbia (STURM et al., 2009), Irlanda (LI; BOYLE; REYNOLDS, 2010), entre outros.

Segundo Sanches Fernandes, Terêncio e Pacheco (2015, p. 91, tradução nossa), “a maior parte da água utilizada nas construções pode ser substituída pela água da chuva”. A reutilização de água pluvial em residências pode reduzir a demanda de água potável (GHISI; MONTIBELLER; SCHMIDT, 2006; SANTOS; TAVEIRA-PINTO, 2013), diminuir os gastos com infraestrutura e manutenção dos sistemas de abastecimento de água presentes nas cidades (SILVA; GHISI, 2016), reduzir o escoamento superficial e a quantidade capturada pelos sistemas de drenagem urbanos durante chuvas intensas (EEA, 2012 apud MATOS et al., 2013; SAMPLE; LIU, 2014; MEMON et al., 2009 apud WARD et al., 2012) e reduzir a quantidade de nutrientes carregados para os corpos d’água (VIEIRA et al., 2014).

Para Morales-Pinzón et al. (2015, p. 614, tradução nossa), os objetivos da utilização do sistema de reaproveitamento de água pluvial são,

Primeiro, em macro escala, para oferecer a água como uma resposta estratégica para o crescimento urbano; segundo, na escala de design, para atender o maior percentual da demanda por água da chuva de um edifício ou bairro; e terceiro, para obter resultados econômicos, ambientais e sociais que justificam um sistema descentralizado de água.

A água armazenada pode ser utilizada para fins onde não se tem a necessidade do uso de água potável como por exemplo para a descarga de vasos sanitários, máquinas de lavar, irrigação de jardins, lavagem de carros (VILLARREAL; DIXON, 2005; WARD, 2010 apud WARD et al., 2012) e calçadas (SANTOS; TAVEIRA-PINTO, 2013), mas também pode ser utilizada, após certo tratamento, para fins onde é necessário uso de água potável (MENDEZ et al., 2011; OKOYE; SOLYALI; AKINTUĞ, 2015; SILVA; SOUSA; CARVALHO, 2015).

O sistema de reaproveitamento de água pluvial é composto principalmente por uma área de coleta da água, um sistema para desvio da primeira descarga de água, a qual geralmente contém a maior quantidade de poluentes, um filtro para retirada de partículas sólidas ainda presentes na água, um tanque de armazenamento com uma fonte alternativa de água caso necessário e um sistema extravasor de água para quando estiver cheio, uma bomba quando não se tem carga hidráulica suficiente, encanamentos para transporte da água e, quando necessário, um sistema de desinfecção da água (MATOS et al., 2013; SAMPLE; LIU, 2014; SANCHES FERNANDES; TERÊNCIO; PACHECO, 2015; SILVA; SOUSA; CARVALHO, 2015; VIALLE et al., 2015; VIEIRA et al., 2014).

O sistema de reaproveitamento de água pluvial depende principalmente das condições de precipitação da região (SANCHES FERNANDES; TERÊNCIO; PACHECO, 2015), da demanda por água (IMTEAZ et al., 2013, 2014 apud STEC; KORDANA, 2015) e das condições de temperatura, que podem alterar o padrão de consumo (SILVA; SOUSA; CARVALHO, 2015).

Segundo Silva, Sousa e Carvalho (2015, p. 23, tradução nossa), “a viabilidade econômica direta do sistema de reaproveitamento de água pluvial depende do equilíbrio entre os custos de investimento, operação e manutenção do sistema e da economia de custo do abastecimento público de água”. Este sistema é recomendado para regiões com uma precipitação anual de mais de 1000 mm (ALADENOLA; ADEBOYE, 2010).

3.1.1 REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL NO BRASIL

O Brasil, que possui uma precipitação média anual de 1761 mm segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) (2013), possui água proveniente da chuva de forma abundante em boa parte do país (GHISI; MONTIBELLER; SCHMIDT, 2006), e, como mostrado por Ghisi (2006), que apresentou o potencial que as regiões geográficas do país têm de economizar água potável ao se comparar o volume precipitado por ano por pessoa e a demanda de água potável

por ano por pessoa, destacam-se as regiões amazônica e sul, que possuem um potencial de economizar água potável de 100% e 82%, respectivamente, como é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Potencial de economizar água potável nas regiões geográficas do Brasil.

REGIÃO GEOGRÁFICA	VOLUME DE CHUVA ESPECÍFICO	DEMANDA DE ÁGUA POTÁVEL	POTENCIAL DE ECONOMIZAR ÁGUA POTÁVEL
	(m ³ per capita/ano)	(m ³ per capita/ano)	(%)
Norte	38,419	32,120	100
Nordeste	21,457	35,405	61
Centro Oeste	32,608	43,800	74
Sudeste	27,953	57,670	48
Sul	35,000	42,705	82

Fonte: Ghisi (2006).

Porém, apesar do alto potencial de economizar água potável em grande parte do país, a reutilização de água pluvial para fins não potáveis é utilizada em maior escala apenas na região nordeste, principalmente através do Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: um Milhão de Cisternas Rurais - P1MC (OLIVEIRA; CHRISTMANN; PIEREZAN, 2015).

Da Costa Pacheco et al. (2017) pesquisou sobre as legislações brasileiras que tratam sobre o sistema de reaproveitamento de água pluvial e verificou que apenas 26% dos estados brasileiros possuem legislação sobre o reuso de água pluvial, 62% das capitais de estados possuem legislação sobre este tema e que em âmbito nacional, a NBR-15527 (ABNT, 2007) possui caráter normativo e trata da utilização de água pluvial em áreas urbanas para usos não potáveis.

3.2 Qualidade da água armazenada

Apesar dos benefícios que se pode obter com a reutilização de água pluvial, é preciso se tomar alguns cuidados com esta água pois ela pode trazer alguns riscos à saúde humana (LEE; BAK; HAN, 2012). Sabe-se que a qualidade da água pluvial armazenada é dependente da presença de árvores frondosas e animais (AHMED et al., 2012^a apud THOMAS et al., 2014), das características da cobertura, como o seu material, sua declividade e também do seu comprimento (GIKAS; TSIHRINTZIS, 2012), da presença de líquens e musgos na cobertura (LEE; BAK; HAN, 2012), das condições de clima e poluição atmosférica (FARRENY et al., 2011) e também da localização do sistema (MENDEZ et al., 2011 apud SILVA; SOUSA; CARVALHO, 2015).

É possível encontrar estudos onde foram encontrados substâncias e patógenos na água armazenada, como por exemplo metais pesados (MIMURA et al., 2016), outras partículas sólidas decorrentes de deposição atmosférica e também da degradação do material de cobertura (CHARTERS; COCHRANE; O’SULLIVAN, 2016), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (FÖRSTER, 1998, 1999 apud MENDEZ et al., 2011), pesticidas (MAHUGIJA; HENKELMANN; SCHRAMM, 2015), herbicidas (BLANCHOU et al., 2002) e microrganismos como *Campylobacter spp.*, *Salmonella spp.*, *Giardia lamblia*, e *Escherichia coli* (AHMED et al., 2012).

Portanto, para melhorar a qualidade da água armazenada, é preciso um tratamento prévio desta, mesmo que mínimo, antes de sua utilização. A utilização de um sistema de desvio da primeira descarga de água, utilização de filtros para filtração fina ou grossa, a utilização de lâmpadas UV, pasteurização por tecnologia solar, cloração, utilização de bolhas de ozônio e filtros de membrana metálica são exemplos que podem ser aplicados para tratamento físico e biológico da água pluvial coletada (HELMREICH; HORN, 2009; VIEIRA et al., 2014).

3.3 Análise de Estudos Anteriores

Existem diversos estudos que abordam de diferentes maneiras e com diferentes objetivos o assunto de sistemas de reaproveitamento de água pluvial. Em uma revisão de literatura sobre este assunto é possível encontrar trabalhos que abrangem temas como mudanças climáticas e impactos ambientais (HAQUE; RAHMAN; SAMALI, [s.d.]; TAVAKOL-DAVANI et al., 2016; VIALLE et al., 2015; YOUN et al., 2012), qualidade da água armazenada (FARRENY et al., 2011; LEE; BAK; HAN, 2012; MENDEZ et al., 2011; NALWANGA et al., 2016; SAZAKLI; ALEXOPOULOS; LEOTSINIDIS, 2007), comparação da eficiência do sistema em diferentes climas e regiões (GHISI, 2006; PALLA et al., 2012), potencial de desempenho dos sistemas (GHISI; TAVARES; ROCHA, 2009; JONES; HUNT, 2010; LEE et al., 2016; MORUZZI et al., 2016), variáveis sociais relacionadas ao sistema (WARD et al., 2012), viabilidade econômica (FARRENY; GABARRELL; RIERADEVALL, 2011; MORALES-PINZÓN et al., 2012; SAMPLE; LIU, 2014), dimensionamento de reservatório e suas variáveis econômicas (MORALES-PINZÓN et al., 2015; OKOYE; SOLYALI; AKINTUĞ, 2015; PELAK; PORPORATO, 2016), entre outros.

Diversos trabalhos sobre os sistemas de reaproveitamento de água pluvial geralmente fazem uma substituição mínima da água potável pela água coletada, com seu uso apenas para descarga de vasos sanitários, lavagem de carros e irrigação de jardins em sua maioria (GHISI;

BRESSAN; MARTINI, 2007; HASHIM et al., 2013; MATOS et al., 2013; OKOYE; SOLYALI; AKINTUĞ, 2015), porém é possível se obter resultados satisfatórios para projetos com uma ampla substituição da água potável pela água pluvial.

Segundo Helmreich e Horn (2009) a demanda de água é um fator que influencia diretamente no tamanho do reservatório. O reservatório de água é um dos componentes mais importantes do sistema de reaproveitamento de água pluvial (PELAK; PORPORATO, 2016) pois é a parte com o maior custo de todo o projeto (CHILTON et al., 2000 apud SANTOS; TAVEIRA-PINTO, 2013).

Percebe-se que a maioria dos sistemas de reaproveitamento de água pluvial são construídos em locais onde a edificação já está instalada e finalizada, o que leva a alguns imprevistos no projeto e também a instalações não tão chamativas visualmente, como as apresentadas nas Figuras 1 e 2. A implementação do sistema de reaproveitamento de água pluvial junto ao projeto de construção de casas pode minimizar os custos totais de construção, além de eliminar imprevistos e também permitir que se possa fazer a construção do sistema integrado a estrutura da residência.

Figura 1 - reservatório de água pluvial enterrado (Foto tirada por Papenfus)



Fonte: Mwenge Kahinda, Taigbenu e Boroto (2007).

Figura 2 - Reservatório de água pluvial exposto no condado de Craven, na Carolina do Norte, Estados Unidos.



Fonte: Jones e Hunt (2010).

do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foram coletados pela estação meteorológica situada na cidade de Uberlândia, de código Uberlândia-A507.

Os dados de precipitação utilizados neste estudo correspondem aos anos de 1975 a 2012, porém, os anos de 1987, 1988, 1991 a 1994 e 2003 foram desconsiderados devido a falhas na captação de dados. Os demais dados meteorológicos utilizados correspondem aos anos de 2008 e 2009.

4.3 Dimensionamento do Sistema de Reaproveitamento de Água Pluvial

O sistema de reaproveitamento de água pluvial descrito no presente estudo será composto por uma área de coleta de água, um filtro lento de areia, um reservatório para armazenamento da água coletada, um sistema de desinfecção da água e uma bomba para recalque da água.

4.3.1 CONSUMO DE ÁGUA

Primeiramente, foi realizado uma pesquisa para se obter dados do Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE) para que assim fosse calculado o consumo de água médio da cidade de Uberlândia, em $L.hab^{-1}.dia^{-1}$. Este resultado foi utilizado como um valor comparativo ao resultado obtido para estimativa do consumo de água deste estudo.

O consumo de água deste estudo foi estimado considerando-se uma residência de alto padrão onde habitam 3 pessoas, o que segundo o IBGE ([s.d.]), é a média de moradores por residência na região sudeste do Brasil. A água pluvial substituiu a água potável neste estudo em 3 diferentes níveis de substituição, substituição alta, moderada e baixa. No teste com substituição alta, a água potável foi substituída pela água pluvial na descarga de vasos sanitários, no chuveiro, na piscina, na irrigação de jardim, na banheira, na máquina de lavar roupas, no lavatório, na pia da cozinha, no tanque e na torneira de jardim. No teste de substituição moderada, a água potável foi substituída pela água pluvial na descarga de vasos sanitários, na piscina, na irrigação de jardim, na máquina de lavar roupas, no tanque e na torneira de jardim, e por último, no teste de substituição baixa, a água potável foi substituída pela água pluvial na descarga de vasos sanitários, na irrigação de jardim, e na torneira de jardim.

Para estimativa da evaporação da piscina, utilizou-se as Equações 1, 2, 3 e 4, de acordo com a metodologia de Christiansen (1968) apud Pereira, Villa Nova e Sediya (1997).

$$E = 0,482 * R_s * C_T * C_W * C_H \quad (1)$$

$$C_T = 0,463 + 0,425 * \frac{T}{T_o} + 0,112 * \left(\frac{T}{T_o}\right)^2 \quad (2)$$

$$C_W = 0,672 + 0,406 * \frac{W}{W_o} - 0,078 * \left(\frac{W}{W_o}\right)^2 \quad (3)$$

$$C_H = 1,035 + 0,24 * \left(\frac{H}{H_o}\right)^2 - 0,275 * \left(\frac{H}{H_o}\right)^3 \quad (4)$$

Onde E é a evaporação mensal, em mm, R_s é a radiação global convertida em lâmina (cm), T é a temperatura média do ar, em °C, T_o é a temperatura de referência, igual a 20 °C, W é a velocidade média do vento a 2 m do solo, em Km/h, W_o é a velocidade de referência, igual a 6,7 Km/h, H é a umidade relativa média decimal e H_o é a umidade de referência, igual a 0,6.

Para se estimar a evapotranspiração de referência do jardim, utilizou-se a Equação 5, de acordo com o Método de Priestley-Taylor (PRIESTLEY; TAYLOR, 1972), que, segundo Da Silva et al. (2011), possui uma alta confiabilidade na estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Uberlândia. A evapotranspiração do gramado foi calculada multiplicando-se a evapotranspiração de referência pelo coeficiente de cultura final (KC_{final}) de gramados para as estações quentes e frias, iguais a 0,85 e 0,95, respectivamente, disponibilizado pelo Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS; GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2010).

$$ETP = \alpha * W * \frac{(R_n - G)}{\lambda} \quad (5)$$

Onde α é o coeficiente de Priestley-Taylor, que possui como melhor estimativa o valor de 1,26 (FIETZ; FISCH, 2009), W é o fator de ponderação dependente da temperatura do ar e do coeficiente psicrométrico, calculado pelas Equações 6 e 7, R_n é a radiação líquida diária total, em MJ/(m².dia), G é o fluxo pdiário total de calor no solo, em MJ/(m².dia), λ é o calor latente de evaporação, igual a 2,45 MJ/kg.

$$W = 0,407 + 0,0145 * T \quad (6)$$

$$W = 0,483 + 0,01 * T \quad (7)$$

Sendo que 0 °C < T < 16 °C, para a Equação 6, e 16,1 °C < T < 32 °C, para a Equação 7. As vazões de projeto que foram utilizadas nas outras peças onde a água pluvial substituirá a água potável foram obtidas através de pesquisas a normas técnicas e demais fontes. Estas vazões foram multiplicadas pela duração da utilização e pela quantidade de vezes que se utiliza a peça por dia, para assim se obter valor do consumo de água de interesse. As durações consideradas

para a ducha de banho, lavatório e pia de cozinha, por dia, foram de 10 min/pessoa, 2 min/pessoa e 3 min/pessoa, respectivamente (ABNT, 2008). Para o tanque e torneira de jardim, considerou-se uma duração de 2 min/dia e 10 min/semana, respectivamente, e, para a quantidade de vezes que se utiliza, por pessoa, a ducha de banho, a banheira e a bacia sanitária foi de 10 banhos por semana, 2 banhos por semana e 4 descargas por dia, respectivamente. Para a máquina de lavar roupas, foi considerado uma utilização de 2 ciclos por semana.

4.3.2 FILTRAÇÃO DA ÁGUA

A área de horizontal do filtro é dada através da divisão da vazão de alimentação do filtro pela taxa de filtração fixada. Os parâmetros e características do filtro foram estabelecidos baseando-se nas recomendações da norma brasileira NBR-12216 (ABNT, 1992), porém, foi levado em consideração que o filtro tratado neste estudo é para ser utilizado em apenas uma residência, possuindo então uma vazão de alimentação bastante inferior da utilizada em estações de tratamento de água.

Devido à grande variação da vazão coletada de água pluvial, foi dimensionado um reservatório para estar situado antes do filtro, com finalidade de regular a vazão que chega ao filtro, independente da intensidade da chuva. Para determinar o volume do reservatório, primeiramente foi calculado o volume médio e máximo de chuva por ciclo de chuva, feito isso, se escolherá um valor médio para atender a maioria dos eventos de chuva em um ano. Foi considerado um ciclo de chuva qualquer período ininterrupto com chuva durante o dia.

Os dados utilizados para o cálculo desta média e valor máximo de chuva por ciclo foram referentes aos anos de 2008 a 2012. Foi utilizado apenas estes dados devido ao fato de serem os únicos com informações horárias de quantidade de chuva. O dimensionamento do sistema de drenos do filtro foi feito conforme a metodologia apresentada pelo CISAM (Conselho Intermunicipal de Saneamentos Ambiental) e AMVAP (Associação dos Municípios da Microrregião do Vale do Paranaíba) (2006). A área do dreno principal (A_{DP}) foi calculada pela Equação 8, o espaçamento dos drenos laterais foi a maior dimensão do filtro dividida por 4, a área dos drenos laterais (A_{DL}) foi calculada pela Equação 9 e a área de um dreno lateral (A_{1DL}) foi calculada pela Equação 10.

$$A_{DP} = \frac{A}{RI} \quad (8)$$

$$A_{DL} = \frac{Q}{v} \quad (9)$$

$$A_{1DL} = \frac{A_{DL}}{N} \quad (10)$$

Onde A é a área do filtro lento, em m², Rl é a relação aproximada da área de seção do filtro para a área do dreno principal, Q é a vazão filtrada, em m³/s, v é a velocidade máxima da água nos drenos, em m/s, e N é o número de drenos laterais. As relações utilizadas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de Hazen para dimensionamento de drenos para filtros lentos.

Taxa de filtração (m ³ /m ² .dia)	2,80	3,75	4,70	5,60
Relação aproximada da área de seção do filtro para a área do dreno principal	6300	5600	5100	4700
Velocidade recomendável nos drenos laterais (m/s)	0,12	0,15	0,17	0,22

Fonte: CISAM e AMVAP (2006).

O tamanho do orifício de saída de água para esvaziamento do reservatório anterior ao filtro foi calculado utilizando a Equação 11 (MALÁSIA, 2000 apud TOMAZ, 2008).

$$t = \frac{[2 * A_s * (y_1^{0,5} * y_2^{0,5})]}{[C_d * A_o * (2 * g)^{0,5}]} \quad (11)$$

Onde t é o tempo gasto, em segundos, A_s é a área transversal do reservatório, em m², y₁ é a altura do nível da água no início, em m, y₂ é a altura do nível da água no fim, em m, C_d é o coeficiente de descarga, igual a 0,62, A_o é a área da seção transversal do orifício, em m², e g é a aceleração da gravidade, em m/s².

4.3.3 RESERVATÓRIO DE ÁGUA PLUVIAL

O reservatório de água pluvial foi dimensionado utilizando os métodos de Rippl, da Simulação e o método prático Australiano, disponibilizados na norma brasileira NBR-15527 (ABNT, 2007). O método de Rippl, pode ser calculado utilizando as Equações 12 e 13.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (12)$$

$$Q_{(t)} = C * P * A \quad (13)$$

Sendo que $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$, S_(t) é o volume de água no reservatório no tempo t, Q_(t) é o volume de chuva aproveitável no tempo t, D_(t) é a demanda no tempo t, P é a precipitação, A é a área de coleta e C é o coeficiente de escoamento superficial. O volume do reservatório é obtido

somando-se os valores de $S_{(t)}$ maiores que 0. O método da Simulação pode ser calculado utilizando as Equações 14 e 15.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (14)$$

$$Q_{(t)} = C * P * A \quad (15)$$

Sendo que $0 \leq S_{(t)} \leq V$, $S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t , $S_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório no tempo $t-1$, $Q_{(t)}$ é o volume de chuva no tempo t , $D_{(t)}$ é a demanda no tempo t , V é o volume fixado do reservatório, P é a precipitação, A é a área de coleta e C é o coeficiente de escoamento superficial. O método prático Australiano pode ser calculado utilizando as Equações 16 e 17.

$$Q = A * C * (P - I) \quad (16)$$

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (17)$$

Sendo que quando $V_{t-1} + Q_t - D < 0$, então V_t é igual a 0, C é o coeficiente de escoamento superficial, P é a precipitação média mensal, I é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm, A é a área de coleta e Q é o volume mensal produzido pela chuva, $Q_{(t)}$ é o volume mensal produzido pela chuva no mês t , $V_{(t)}$ é o volume de água que está no tanque no fim do mês t , $V_{(t-1)}$ é o volume de água que está no tanque no início do mês t e $D_{(t)}$ é a demanda mensal. O volume do reservatório escolhido será T . Calcula-se a confiança deste método através da Equação 18 e 19.

$$Pr = \frac{Nr}{N} \quad (18)$$

$$\text{Confiança} = 1 - Pr \quad (19)$$

Onde Pr é a falha, Nr é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda e N é o número de meses. Os valores para o coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de Runoff estão apresentados na Tabela 3, porém, segundo Tomaz (2003), um coeficiente igual a 0,80 é o melhor valor a ser adotado.

Tabela 3 - Valores médios para o Coeficiente de Runoff em diferentes materiais.

MATERIAL	COEFICIENTE DE RUNOFF
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico, PVC	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz (2003).

As Tabela 4, 5 e 6 apresentam de maneira mais simples como foi feito o cálculo de dimensionamento do reservatório para os métodos de Rippl, da Simulação e o método prático Australiano, respectivamente. Após o dimensionamento do reservatório em todos os métodos

utilizados para cada nível de substituição, foi escolhido um dos volumes encontrados para se aplicar no projeto, levando em consideração o método escolhido e a viabilidade do volume obtido.

Tabela 4 - Apresentação de dados para dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método de Rippl.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	DEMANDA DE ÁGUA	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DEMANDA - VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DIFERENÇA ACUMULADA
-	(mm)	(m³)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)
Janeiro						
⋮						
Dezembro						
Volume do Reservatório						

Tabela 5 - Apresentação de dados para dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método da Simulação.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA	VOLUME FIXADO	DEMANDA DE ÁGUA	VOLUME DO RESERVATÓRIO
-	(mm)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
Janeiro						
⋮						
Dezembro						
Volume do Reservatório						

Tabela 6 - Apresentação de dados para dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método prático Australiano.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DEMANDA DE ÁGUA	VOLUME DO RESERVATÓRIO
-	(mm)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)
Janeiro					
⋮					
Dezembro					
Confiança					-
Volume do Reservatório					-

O volume do reservatório foi escolhido ao se determinar o melhor método de dimensionamento, o maior volume de água potável a ser substituído e a viabilidade de construção do reservatório com o seu respectivo volume. Após a escolha, foi projetado a construção do reservatório embaixo da piscina, com o auxílio de um engenheiro civil, para se determinar a quantidade de insumos necessários para construção do reservatório neste local.

4.3.4 DESINFECÇÃO DA ÁGUA

O processo de desinfecção da água foi feito utilizando-se a radiação UV para inativação dos organismos patogênicos. A metodologia de dimensionamento do sistema de desinfecção UV com lâmpadas imersas foi proposta por Daniel et al. (2001). A dose de radiação ultravioleta ideal para inativação dos microrganismos foi determinada através de uma pesquisa a trabalhos já realizados. Sabendo-se da dose de radiação e do tempo em que os organismos serão expostos a esta radiação, utilizou-se a Equação 20 para cálculo da intensidade de radiação aplicada no sistema.

$$D=I*t \quad (20)$$

Onde D é a dose de radiação ultravioleta, em mWs/cm², I é a intensidade de radiação, em mW/cm², e t é o tempo de exposição, em segundos. A intensidade de radiação emitida pela fonte foi calculada através da Equação 21 e 22.

$$I=I_0 * e^{-\alpha * L} \quad (21)$$

$$\alpha=2,303 * A \quad (22)$$

Onde I₀ é a intensidade de radiação emitida pela fonte, em mW/cm², α é o coeficiente de absorção, em cm⁻¹, L é trajetória percorrida pela radiação ultravioleta, em cm, e A é a absorbância da água em comprimento de onda de 254 nm. Através da I₀, calculou-se a intensidade média (I_m) e a dose recebida por volume (D_r) através das Equações 23 e 24, respectivamente.

$$I_m = \frac{I_0}{\alpha * L} * (1 - e^{-\alpha * L}) \quad (23)$$

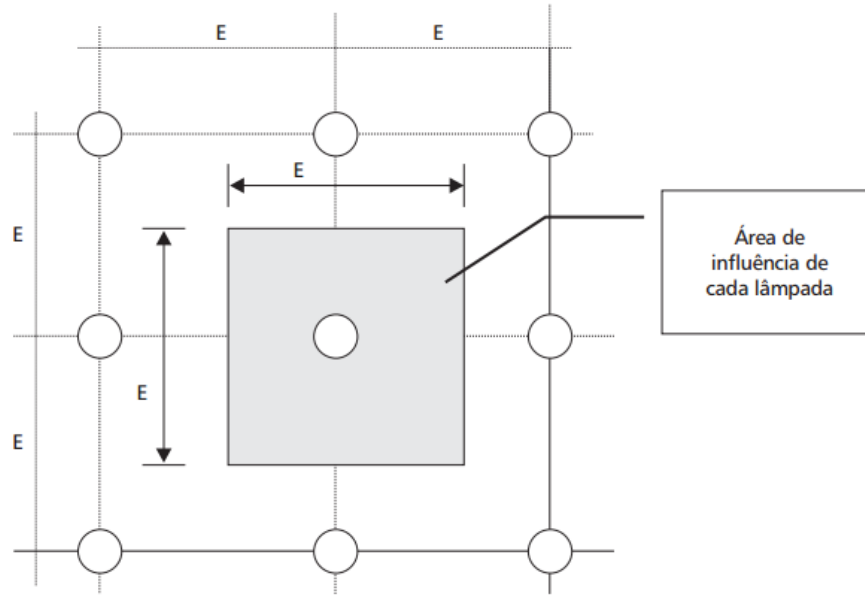
$$D_r = \frac{I_m * t}{L} * 0,2778 \quad (24)$$

A intensidade média é dada em mW/cm², e a dose recebida por volume é dada em Wh/m³. O fator 0,2778 é utilizado na fórmula para conversão de mW para W, segundos para horas e cm para m. A dose aplicada por volume (D_v) foi calculada pela Equação 25.

$$D_v = \frac{I_0 * t}{L} * 0,2778 \quad (25)$$

Onde a dose aplicada por volume é dada em Wh/m³. A dose aplicada por volume também pode ser calculada pelas Equações 26 e 27, onde ao se igualar as duas expressões, pôde-se determinar a área de influência de cada lâmpada, como mostrado pela Figura 4.

Figura 4 - Corte transversal do sistema de desinfecção ultravioleta.



Fonte: Daniel et al. (2001).

$$D_v = \frac{D_r * \alpha * L}{1 - e^{-\alpha * L}} \quad (26)$$

$$D_v = \frac{P_{254} * t}{E^2 * C} \quad (27)$$

Onde P_{254} é a potência da lâmpada, em W, E é o espaçamento entre lâmpadas, em m, e C é o comprimento da lâmpada, em m. Para o cálculo do número de lâmpadas utilizadas no sistema, utilizou-se as Equações 28, 29 e 30.

$$V_d = t * Q \quad (28)$$

$$V_L = E^2 * C \quad (29)$$

$$n = \frac{V_d}{V_L} \quad (30)$$

Onde V_d é o volume desinfetado, em m^3 , Q é a vazão máxima a passar no reator, em m^3/h , n é o número de lâmpadas e V_L é o volume relativo de cada lâmpada, em m^3 .

4.3.5 BOMBA

Neste projeto, foi utilizado uma bomba para recalque da água apenas após o reservatório de água subterrâneo, de onde a água será direcionada diretamente do reservatório para o sistema de desinfecção ultravioleta e por fim para um outro reservatório que fica acima da casa, com função de distribuir a água aos locais onde a água pluvial substituirá a água potável. O reservatório superior tem capacidade mínima de 48 horas de consumo normal no edifício,

obedecendo a exigência mínima da NBR 5626 (ABNT, 1998), que é de no mínimo 24 horas de consumo normal no edifício.

A bomba foi selecionada utilizando o catálogo para seleção de moto bombas da marca Schneider Moto bombas, onde após a identificação da altura manométrica e a vazão necessária, se selecionará a bomba que melhor se adapta a estas condições. A altura manométrica total foi calculada somando-se a altura de recalque e a perda de carga no recalque, onde as perdas de carga nos acessórios foram retiradas da norma brasileira NBR 5626 (ABNT, 1998).

4.4 *Payback*

Para que se tenha uma dimensão do valor inicial do projeto, primeiramente foi calculado o valor que deve ser investido inicialmente no projeto. O preço dos insumos foi calculado utilizando a tabela do SINAPI referente ao preço de insumos, não desonerados, do período de setembro de 2017, para Minas Gerais (SINAPI, 2017). Os demais valores que não forem possíveis de serem determinados por esta tabela, foram determinados através de pesquisa de preços em sites de compra na internet.

Em seguida, foi calculado o acréscimo mensal à conta de energia devido a utilização da bomba e das lâmpadas para o sistema de desinfecção ultravioleta. O cálculo do valor foi feito considerando o valor de tarifa cobrado por kwh pela CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) para o mês de outubro de 2017, incluindo encargos e tributos.

O valor descontado do consumo de água foi calculado com base nos dados do Decreto Municipal nº 16.439/2016 (UBERLÂNDIA, 2016). Este valor foi obtido ao se diminuir do preço calculado para o consumo total da residência, o preço calculado para o consumo da água potável apenas, após a implantação do sistema de reaproveitamento de água pluvial.

O tempo de retorno do investimento (T), ou *payback*, foi calculado adaptando-se os modelos utilizados por Ferreira (2005) e Yoshino (2012), utilizando a Equação 31.

$$T = \frac{C_i}{(C_1 - C_2) * 12} \quad (31)$$

Onde C_i é o custo de investimento do sistema, C_1 é a economia gerada pelo sistema, C_2 é o gasto gerado pelo sistema, e 12 é o fator de conversão de meses para anos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Consumo de Água

A Tabela 7 apresenta os dados disponibilizados pelo DMAE para o mês de novembro de 2016, utilizados para se calcular o valor médio consumido por pessoa na cidade de Uberlândia.

Tabela 7 - Consumo de água da cidade de Uberlândia para o ano de 2016.

TIPO DE CONSUMO	VOLUME CONSUMIDO	UNIDADES
-	(m ³ /mês)	-
Residencial	3275931	264376
Comercio	699985	26298
Industria	342400	270
Públicas	96332	1016
Total	4414648	291960

Fonte: Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (2016).

Através dos resultados apresentados na Tabela 7, e, considerando-se uma população de 669672 pessoas para a cidade de Uberlândia segundo estimativa do IBGE para o ano de 2016 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2016), obteve-se uma média de 3 pessoas por residência na cidade de Uberlândia, com um consumo total médio, no mês de novembro do ano de 2016, de 163 L/dia por pessoa.

Para estimativa do consumo de água potável em lugares onde há a possibilidade de substituição por água pluvial, utilizou-se os dados apresentados na Tabela 8 para se calcular o quanto de água é consumido por dia na residência deste estudo. As Tabela 9 e 10 apresentam os resultados obtidos para o consumo de água nos diferentes pontos de utilização da residência utilizada neste estudo.

Os dados apresentados na Tabela 8 foram obtidos com base em pesquisas realizadas em sites, normas técnicas e demais documentos. Estes dados representam as vazões de consumo medidas para diversas peças de uma residência, onde se têm a possibilidade de substituição da água potável, geralmente usada, pela água pluvial coletada na residência.

Tabela 8 - Vazões das peças onde a água potável poderá substituída por água pluvial.

PEÇA	VAZÃO
Ducha de Banho	9 L/min ⁽¹⁾
Lavatório	3,9 L/min ⁽¹⁾
Banheira	260 L/banho ⁽¹⁾
Pia de Cozinha	4,8 L/min ⁽¹⁾
Bacia Sanitária com Caixa de Descarga	6 L/descarga ⁽²⁾
Tanque	0,25 L/s ⁽³⁾
Torneira de Jardim	0,2 L/s ⁽³⁾
Máquina de Lava Roupas	88,7 L/ciclo ⁽⁴⁾

Fontes: (1) Média dos valores disponibilizados pela NBR-15569 (ABNT, 2008); (2) Valor disponibilizado pela companhia de saneamento básico do estado de São Paulo (SABESP) (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, [s.d.]); (3) Valor disponibilizado pela NBR-5626 (ABNT, 1998); (4) Consumo da máquina de lavar de modelo Lava e Seca Prime Touch 10 kg Branca, da LG, conforme analisado pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL, 2016).

Tabela 9 - Consumo de água pluvial calculado para irrigação e reposição de água evaporada de uma piscina para uma residência de alto padrão localizada na cidade de Uberlândia.

MÊS	EVAPORAÇÃO MENSAL DA PISCINA	EVAPOTRANSPIRAÇÃO MENSAL DO JARDIM
-	(L)	(L)
Janeiro	344,26	4573,22
Fevereiro	344,31	4130,65
Março	308,58	5111,25
Abril	319,26	4946,37
Maio	286,35	5111,25
Junho	266,46	4946,37
Julho	324,23	5111,25
Agosto	404,17	5111,25
Setembro	447,69	4425,70
Outubro	448,08	4573,22
Novembro	367,80	4425,70
Dezembro	334,78	4573,22

Tabela 10 - Consumo diário de água com possibilidade de substituição estimado para uma casa de alto padrão com 3 habitantes.

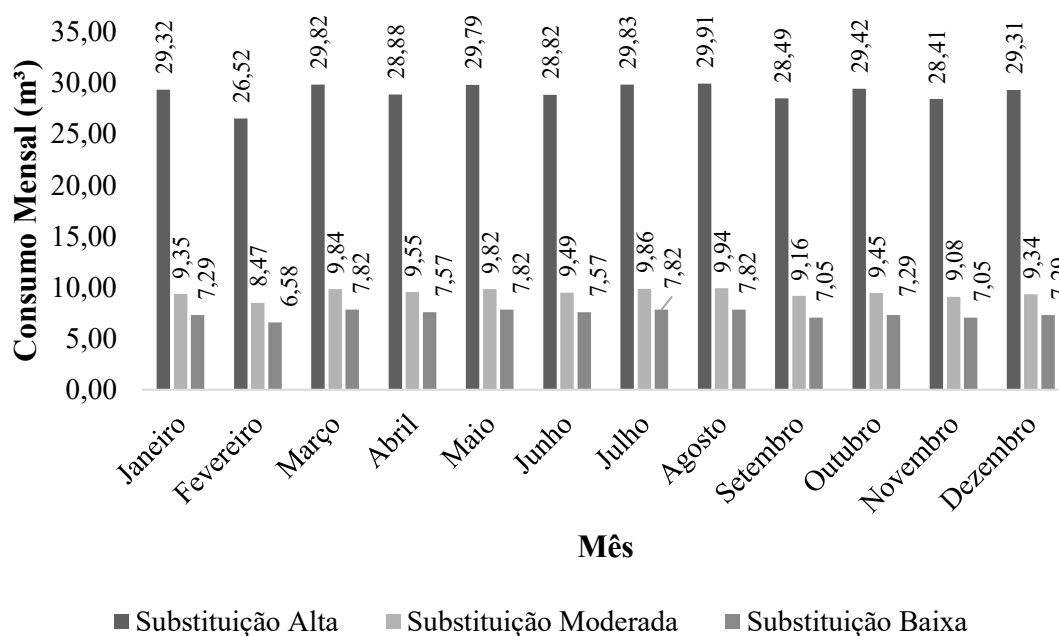
PEÇA	CONSUMO DIÁRIO
Ducha de Banho	385,71 L
Lavatório	23,40 L
Banheira	192,00 L
Pia de Cozinha	43,20 L
Bacia Sanitária com Caixa de Descarga	72,00 L
Tanque	30,00 L
Torneira de Jardim	17,14 L
Máquina de Lava Roupas	25,34 L
Consumo total	788,79 L

Através dos resultados apresentados nas Tabelas 9 e 10, obtém-se um consumo médio mensal de água de aproximadamente 429 L/dia por pessoa, valor 2,63 vezes maior que o obtido

para a cidade de Uberlândia. Esta diferença pode ser justificada pelo fato de que a média da cidade é calculada com dados de consumo de todas as classes sociais, com uma prevalência de pessoas de classe média e baixa, o que gera uma diminuição do valor médio final de consumo, já que o poder socioeconômico afeta diretamente na quantidade de água consumida por uma pessoa, como concluído por Dias, Martinez e Libâno (2010), o que indica uma coerência no resultado obtido neste estudo.

O Gráfico 1 foi construído a partir dos dados das Tabelas 9 e 10 para melhor apresentação do consumo mensal da residência para todos os pontos considerados neste estudo, nas substituições alta, moderada e baixa.

Gráfico 1 - Consumo mensal médio para diferentes tipos de substituição de água potável por água pluvial.

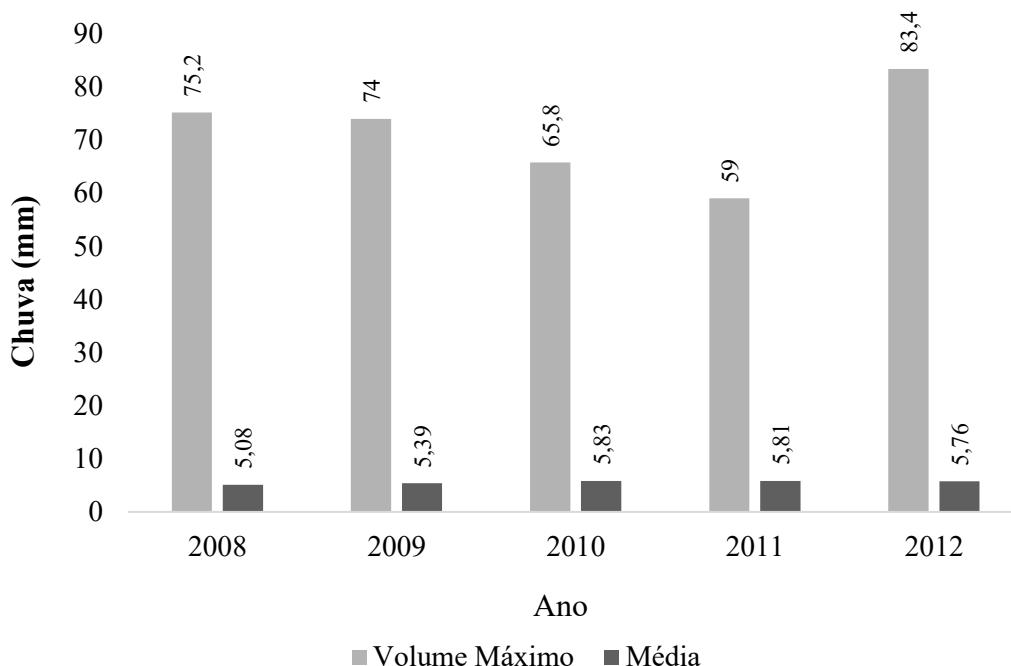


Através da análise do Gráfico 1, é possível perceber que há uma grande diferença entre o resultado da estimativa com substituição alta e as demais estimativas, o que mostra a diferença no consumo de água diário que o banho faz, já que este é o ponto de uso calculado com a maior demanda e que está presente apenas no nível de substituição alta.

5.2 Filtração da Água

Através dos dados meteorológicos disponíveis, construiu-se o Gráfico 2 contendo a média e o valor máximo para o volume de chuva por ciclo de chuva.

Gráfico 2 - Volume máximo e médio por ciclo de chuva.



Através da análise do Gráfico 2, observa-se a grande diferença entre o volume máximo e a média de chuva por ciclo, sendo o volume máximo de chuva aproximadamente 12,8 vezes maior que o volume médio de chuva, o que evidencia a necessidade de um reservatório para regularização da vazão a ser lançada no filtro. A média de chuva por ciclo durante os anos analisados é de 5,57 mm, o que indica um volume coletado médio de 0,647 m³ por chuva.

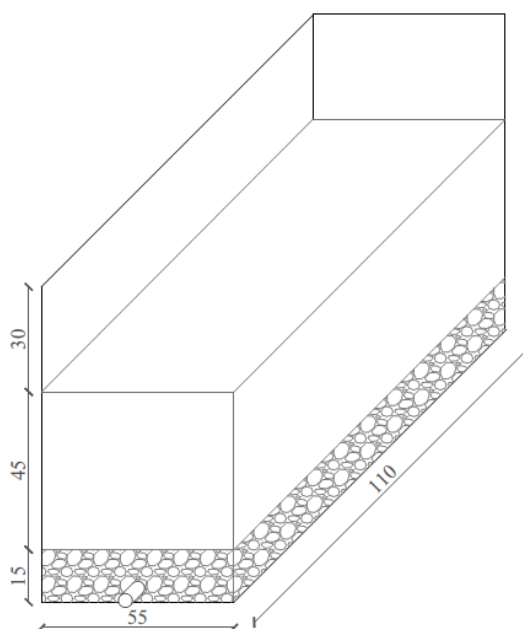
Para se evitar desperdício de água nos casos de chuva com alta intensidade, o volume do reservatório foi adotado como sendo o equivalente a 5 ciclos médios de chuva, possuindo um volume de armazenamento de 3,3 m³.

Segundo a norma brasileira NBR 12216 (ABNT, 1992), a taxa de filtração de um filtro lento não deve ser superior a 6 m³/m².dia. Assim, adotou-se uma taxa de filtração de 5,6 m³/m².dia e estipulou-se que o reservatório seria esvaziado em um dia, obtendo-se uma vazão de 3,3 m³/dia, o que gera uma área superficial de aproximadamente 0,6 m². Portanto, as dimensões do filtro, considerando uma relação onde o comprimento é duas vezes o tamanho da largura, são de 1,1 m de comprimento e 0,55 m de largura.

Devido ao fato de o filtro funcionar apenas durante alguns períodos específicos, será utilizado apenas um filtro, constituído apenas de areia com tamanho efetivo de 0,25 mm, com coeficiente de uniformidade igual a 3 e espessura de 0,45 m. A camada de suporte será constituída com estratos de granulometria decrescente de espessura de 0,15 m, constituído por três subcamadas com espessura de 5 cm e tamanho do material de 3,2 mm, 6,4 mm e 12,7 mm, adaptando-se o que foi proposto pelo CISAM e AMVAP (2006). A Figura 5 apresenta como

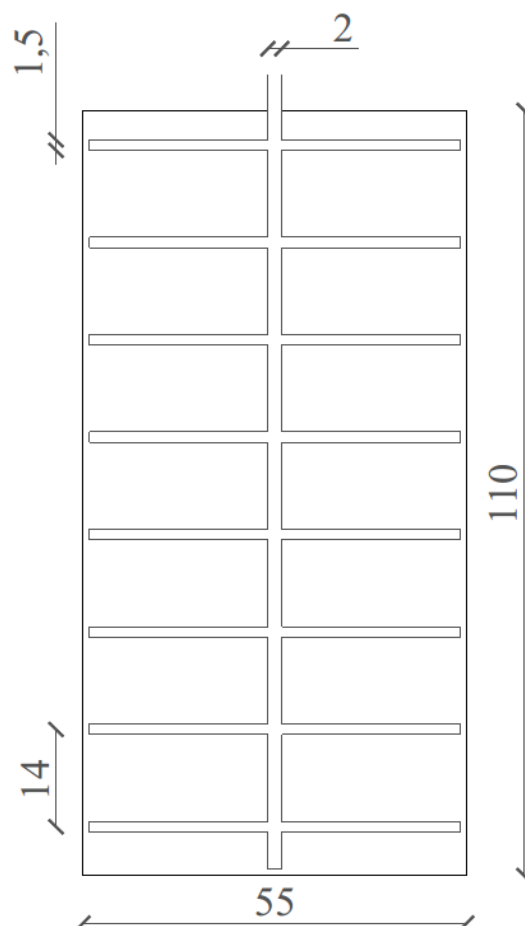
será o filtro, onde deverá existir um espaço acima da camada filtrante para acumulação da lâmina líquida a ser filtrada.

Figura 5 - Dimensões do sistema de filtração de água pluvial, com cotas em centímetros.



Assim, a área do dreno principal calculada foi de $1,28.10^{-4} \text{ m}^2$, o que gera um diâmetro de 0,013 m ou 13 mm, e a área de um dreno lateral é de $2,2.10^{-5} \text{ m}^2$, o que gera um diâmetro de 0,005 m ou 5 mm. Assim, como o diâmetro mínimo para tubos de PVC comercialmente vendido é de 15 mm, o sistema será constituído por um dreno principal com diâmetro de 20 mm e drenos laterais de 15 mm para se ter um dreno principal maior que os drenos laterais. O espaçamento entre os drenos é de 0,14 m, obtendo-se 8 drenos laterais pela extensão do filtro, e os furos devem ser de 3 mm, espaçados em 0,8 cm. A Figura 6 apresenta como será a disposição dos drenos no filtro.

Figura 6 - Sistema de drenos de fundo para filtração lenta.



O tanque utilizado para armazenar a água antes da passagem pelo filtro será da marca Permatex, com volume total de 5 m^3 , e possui 2,57 m de altura, e diâmetro de 1,72 m. Assim, com um tempo de esvaziamento de um dia, o orifício que deve ser feito no tanque deve ser de 4,8 mm de diâmetro.

5.3 Reservatório de Água Pluvial

Os resultados para o dimensionamento do reservatório para o método de Rippl, para substituição alta, moderada e baixa, estão apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13, respectivamente, já os resultados para o dimensionamento do reservatório para o método da Simulação, para substituição alta, moderada e baixa, estão apresentados nas Tabelas 14, 15 e 16, respectivamente, e os resultados para o dimensionamento do reservatório para o método prático Australiano, para substituição alta, moderada e baixa, estão apresentados nas Tabelas 17, 18 e 19, respectivamente.

Tabela 11 - Dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método de Rippl com substituição alta.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	DEMANDA DE ÁGUA	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DEMANDA - VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DIFERENÇA ACUMULADA
-	(mm)	(m³)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)
Janeiro	251,8	29,3	116,2	23,4	5,9	5,9
Fevereiro	205,9	26,5	116,2	19,1	7,4	13,3
Março	173,6	29,8	116,2	16,1	13,7	27,0
Abril	70,0	28,9	116,2	6,5	22,4	49,4
Mai	35,5	29,8	116,2	3,3	26,5	75,9
Junho	7,3	28,8	116,2	0,7	28,1	104,0
Julho	0,5	29,8	116,2	0,0	29,8	133,8
Agosto	2,6	29,9	116,2	0,2	29,7	163,5
Setembro	38,6	28,5	116,2	3,6	24,9	188,4
Outubro	87,4	29,4	116,2	8,1	21,3	209,7
Novembro	197,2	28,4	116,2	18,3	10,1	219,7
Dezembro	275,6	29,3	116,2	25,6	3,7	223,4
Volume do Reservatório						223,4

Tabela 12 - Dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método de Rippl com substituição moderada.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	DEMANDA DE ÁGUA	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DEMANDA - VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DIFERENÇA ACUMULADA
-	(mm)	(m³)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)
Janeiro	251,8	9,3	116,2	23,4	-14,1	-
Fevereiro	205,9	8,5	116,2	19,1	-10,7	-
Março	173,6	9,8	116,2	16,1	-6,3	-
Abril	70,0	9,5	116,2	6,5	3,0	3,0
Mai	35,5	9,8	116,2	3,3	6,5	9,6
Junho	7,3	9,5	116,2	0,7	8,8	18,4
Julho	0,5	9,9	116,2	0,0	9,8	28,2
Agosto	2,6	9,9	116,2	0,2	9,7	37,9
Setembro	38,6	9,2	116,2	3,6	5,6	43,5
Outubro	87,4	9,4	116,2	8,1	1,3	44,8
Novembro	197,2	9,1	116,2	18,3	-9,2	-
Dezembro	275,6	9,3	116,2	25,6	-16,3	-
Volume do Reservatório						44,8

Tabela 13 - Dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método de Rippl com substituição baixa.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	DEMANDA DE ÁGUA	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DEMANDA - VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DIFERENÇA ACUMULADA
-	(mm)	(m³)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)
Janeiro	251,8	7,3	116,2	23,4	-16,1	-
Fevereiro	205,9	6,6	116,2	19,1	-12,6	-
Março	173,6	7,8	116,2	16,1	-8,3	-
Abril	70,0	7,6	116,2	6,5	1,1	1,1
Mai	35,5	7,8	116,2	3,3	4,5	5,6
Junho	7,3	7,6	116,2	0,7	6,9	12,5
Julho	0,5	7,8	116,2	0,0	7,8	20,2
Agosto	2,6	7,8	116,2	0,2	7,6	27,8
Setembro	38,6	7,1	116,2	3,6	3,5	31,3
Outubro	87,4	7,3	116,2	8,1	-0,8	-
Novembro	197,2	7,1	116,2	18,3	-11,3	-
Dezembro	275,6	7,3	116,2	25,6	-18,3	-
Volume do Reservatório						31,3

Tabela 14 - Dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método da Simulação com substituição alta.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA	VOLUME FIXADO	DEMANDA DE ÁGUA	VOLUME DO RESERVATÓRIO
-	(mm)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
Janeiro	251,8	116,2	23,4	225,0	29,3	219,1
Fevereiro	205,9	116,2	19,1		26,5	211,7
Março	173,6	116,2	16,1		29,8	198,0
Abril	70,0	116,2	6,5		28,9	175,6
Mai	35,5	116,2	3,3		29,8	149,1
Junho	7,3	116,2	0,7		28,8	121,0
Julho	0,5	116,2	0,0		29,8	91,2
Agosto	2,6	116,2	0,2		29,9	61,5
Setembro	38,6	116,2	3,6		28,5	36,6
Outubro	87,4	116,2	8,1		29,4	15,3
Novembro	197,2	116,2	18,3		28,4	5,3
Dezembro	275,6	116,2	25,6		29,3	1,6
Volume do Reservatório						225,0

Tabela 15 - Dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método da Simulação com substituição moderada.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA	VOLUME FIXADO	DEMANDA DE ÁGUA	VOLUME DO RESERVATÓRIO
-	(mm)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
Janeiro	251,8	116,2	23,4	15,0	9,3	29,1
Fevereiro	205,9	116,2	19,1		8,5	39,7
Março	173,6	116,2	16,1		9,8	46,0
Abril	70,0	116,2	6,5		9,5	43,0
Mai	35,5	116,2	3,3		9,8	36,4
Junho	7,3	116,2	0,7		9,5	27,6
Julho	0,5	116,2	0,0		9,9	17,8
Agosto	2,6	116,2	0,2		9,9	8,1
Setembro	38,6	116,2	3,6		9,2	2,5
Outubro	87,4	116,2	8,1		9,4	1,2
Novembro	197,2	116,2	18,3		9,1	10,5
Dezembro	275,6	116,2	25,6		9,3	26,7
Volume do Reservatório						46,0

Tabela 16 - Dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método da Simulação com substituição baixa.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA	VOLUME FIXADO	DEMANDA DE ÁGUA	VOLUME DO RESERVATÓRIO
-	(mm)	(m²)	(m³)	(m³)	(m³)	(m³)
Janeiro	251,8	116,2	23,4	0,0	7,3	16,1
Fevereiro	205,9	116,2	19,1		6,6	28,7
Março	173,6	116,2	16,1		7,8	37,0
Abril	70,0	116,2	6,5		7,6	35,9
Mai	35,5	116,2	3,3		7,8	31,4
Junho	7,3	116,2	0,7		7,6	24,5
Julho	0,5	116,2	0,0		7,8	16,7
Agosto	2,6	116,2	0,2		7,8	9,2
Setembro	38,6	116,2	3,6		7,1	5,7
Outubro	87,4	116,2	8,1		7,3	6,5
Novembro	197,2	116,2	18,3		7,1	17,8
Dezembro	275,6	116,2	25,6		7,3	36,1
Volume do Reservatório						37,0

Tabela 17 - Dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método prático Australiano com substituição alta.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DEMANDA DE ÁGUA	VOLUME DO RESERVATÓRIO
-	(mm)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
Janeiro	251,8	116,2	23,2	29,3	0
Fevereiro	205,9	116,2	18,9	26,5	0
Março	173,6	116,2	15,9	29,8	0
Abril	70,0	116,2	6,3	28,9	0
Mai	35,5	116,2	3,1	29,8	0
Junho	7,3	116,2	0,5	28,8	0
Julho	0,5	116,2	-0,1	29,8	0
Agosto	2,6	116,2	0,1	29,9	0
Setembro	38,6	116,2	3,4	28,5	0
Outubro	87,4	116,2	7,9	29,4	0
Novembro	197,2	116,2	18,1	28,4	0
Dezembro	275,6	116,2	25,4	29,3	0
				Confiança	0%
				Volume do Reservatório	Não encontrado

Tabela 18 - Dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método prático Australiano com substituição moderada.

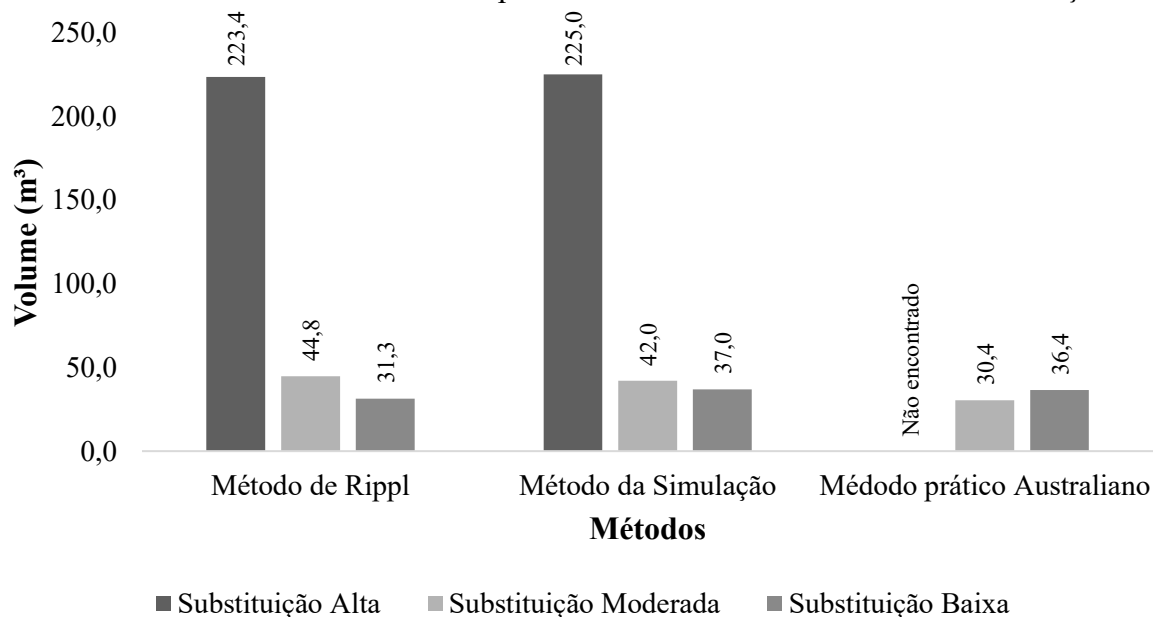
MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DEMANDA DE ÁGUA	VOLUME DO RESERVATÓRIO
-	(mm)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
Janeiro	251,8	116,2	23,2	9,3	13,9
Fevereiro	205,9	116,2	18,9	8,5	24,3
Março	173,6	116,2	15,9	9,8	30,4
Abril	70,0	116,2	6,3	9,5	27,2
Mai	35,5	116,2	3,1	9,8	20,5
Junho	7,3	116,2	0,5	9,5	11,5
Julho	0,5	116,2	-0,1	9,9	1,5
Agosto	2,6	116,2	0,1	9,9	0,0
Setembro	38,6	116,2	3,4	9,2	0,0
Outubro	87,4	116,2	7,9	9,4	0,0
Novembro	197,2	116,2	18,1	9,1	9,1
Dezembro	275,6	116,2	25,4	9,3	25,1
				Confiança	75%
				Volume do Reservatório	30,4

Tabela 19 - Dimensionamento do reservatório de água pluvial pelo método prático Australiano com substituição baixa.

MÊS	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL	ÁREA DE COLETA	VOLUME DE CHUVA APROVEITÁVEL	DEMANDA DE ÁGUA	VOLUME DO RESERVATÓRIO
-	(mm)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
Janeiro	251,8	116,2	23,2	7,3	15,9
Fevereiro	205,9	116,2	18,9	6,6	28,3
Março	173,6	116,2	15,9	7,8	36,4
Abril	70,0	116,2	6,3	7,6	35,2
Maio	35,5	116,2	3,1	7,8	30,5
Junho	7,3	116,2	0,5	7,6	23,4
Julho	0,5	116,2	-0,1	7,8	15,4
Agosto	2,6	116,2	0,1	7,8	7,7
Setembro	38,6	116,2	3,4	7,1	4,0
Outubro	87,4	116,2	7,9	7,3	4,7
Novembro	197,2	116,2	18,1	7,1	15,8
Dezembro	275,6	116,2	25,4	7,3	33,9
					Confiança 100%
					Volume do Reservatório 36,4

O Gráfico 3 foi construído a partir dos dados das Tabelas 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 para melhor apresentação dos volumes encontrados para o reservatório através do seu dimensionamento pelos métodos de Rippl, da Simulação e prático Australiano, considerando em cada método as substituições alta, moderada e baixa.

Gráfico 3 - Volume do reservatório para diferentes métodos e níveis de substituição.



Através da análise do Gráfico 3, percebe-se que a grande diferença de valores para consumo entre o nível de substituição alta e os demais níveis de substituição, apresentada no

Gráfico 1, refletiu-se nos volumes calculados para o reservatório, que também foi bastante alto para a substituição alta, se comparado com os demais níveis de substituição. Além disso, para o Método prático Australiano, o alto consumo de água se mostrou insustentável, sendo maior que o volume de água pluvial armazenável em todos os meses, o que gerou um grau de confiança igual a zero. Assim, percebe-se que há uma inviabilidade econômica ao se utilizar o nível de substituição alta, devido a necessidade de construção de um reservatório de proporções muito grandes.

Para os níveis de substituição moderada e baixa, nota-se que há pouca variação no volume do reservatório ao se comparar os três métodos estudados. Para estes métodos, a diferença entre os volumes foi proporcional a diferença de consumo para os diferentes níveis de substituição, porém, para o método prático Australiano, o método de substituição baixa obteve um volume maior do que o obtido para a substituição moderada, contudo, este nível de substituição não se mostrou efetivo para todos os meses do ano, não sendo confiável.

É possível perceber que não há relação entre os volumes obtidos para os diferentes métodos, pois para cada nível de substituição, um método diferente obteve o maior resultado, o que está de acordo com o resultado obtido por Da Cruz Bezerra et al. (2010), que comparou os métodos de dimensionamento de reservatório de água pluvial propostos na norma brasileira NBR 15527 para diferentes edificações, e também obteve uma grande variação nos resultados de acordo com a edificação, onde se foi possível identificar casos onde o método de Rippl superdimensionou o reservatório e casos onde os métodos de Rippl, da Simulação e prático Australiano obtiveram volumes semelhantes para o reservatório, indicando que estas relações dependem diretamente das condições de cada projeto.

Portanto, através da análise feita dos métodos e dos níveis de substituição, escolheu-se para se utilizar neste estudo o Método de Rippl, que segundo Santos e Taveira-Pinto (2013), é um dos métodos mais apropriados para se dimensionar um reservatório de água pluvial, além de ser um dos métodos que mais aparece em bibliografias que tratam do assunto atualmente (DE AMORIM; DE ANDRADE PEREIRA, 2008). E para o nível de substituição, escolheu-se o nível de substituição moderada, pois é o que possui o maior volume de água potável substituída por água pluvial associada a um volume viável do reservatório para o método escolhido.

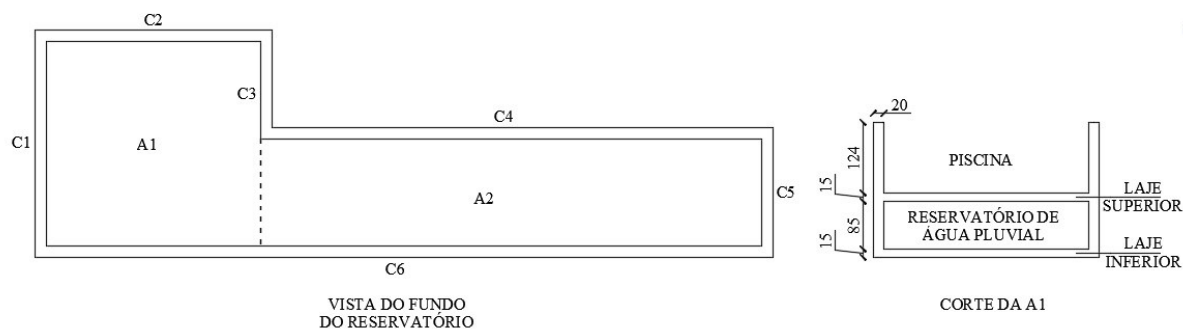
Houve um problema na execução do projeto de construção do reservatório, onde o volume dimensionado é diferente do volume calculado neste estudo, e como, por problemas de disponibilidade do engenheiro civil, não foi possível ser refeito o projeto com o volume correto, o preço dos insumos foi calculado para um reservatório com capacidade de armazenar

aproximadamente 27,3 m³ de água, e em seguida foi feito uma estimativa para que se tenha um resultado mais próximo do valor de custo do reservatório para o volume de 44,8 m³. Os insumos necessários disponibilizados no projeto estão apresentados na Tabela 20, e as imagens da concepção do projeto estão apresentadas na Figura 7.

Tabela 20 - Insumos necessários para construção do reservatório embaixo da piscina mais piscina.

ELEMENTO	INSUMO	DIÂMETRO	QUANTIDADE
-	-	(mm)	(kg)
Armadura longitudinal para laje inferior	Aço CA-50 A	6,3	113
	Aço CA-50 A	8	16,1
	Aço CA-60 B	5	6,9
Armadura transversal para laje inferior	Aço CA-50 A	6,3	90,8
	Aço CA-50 A	8	14,5
	Aço CA-60 B	5	28,5
Armadura longitudinal para laje superior	Aço CA-50 A	6,3	92
	Aço CA-50 A	8	14,9
	Aço CA-60 B	5	23
Armadura transversal para laje superior	Aço CA-50 A	6,3	79
	Aço CA-50 A	8	29
	Aço CA-60 B	5	30,3
Armadura para cortina 1 (C1)	Aço CA-50 A	10	99,8
	Aço CA-50 A	16	27,3
	Aço CA-60 B	5	32,8
Armadura para cortina 2 (C2)	Aço CA-50 A	10	105,1
	Aço CA-50 A	16	28,6
	Aço CA-60 B	5	34,3
Armadura para cortina 3 (C3)	Aço CA-50 A	10	50,1
	Aço CA-50 A	16	12,8
	Aço CA-60 B	5	15,3
Armadura para cortina 4 (C4)	Aço CA-50 A	10	229,79
	Aço CA-50 A	16	62,6
	Aço CA-60 B	5	75,1
Armadura para cortina 5 (C5)	Aço CA-50 A	10	53,1
	Aço CA-50 A	16	15,3
	Aço CA-60 B	5	18,4
Armadura para cortina 6 (C6)	Aço CA-50 A	10	329,7
	Aço CA-50 A	16	90,5
	Aço CA-60 B	5	108,6

Figura 7 - Concepção do projeto do reservatório abaixo da piscina, com cotas em centímetros.



Para que se possa ter uma dimensão da quantidade a mais de materiais gastos para construção apenas do reservatório, o projeto de construção apenas da piscina da residência tratada neste estudo também foi feito. Os insumos necessários disponibilizados no projeto estão apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Insumos necessários para construção da piscina.

ELEMENTO	INSUMO	DIÂMETRO	QUANTIDADE
-	-	(mm)	(kg)
Armadura longitudinal para laje da piscina	Aço CA-50 A	6,3	113,2
	Aço CA-50 A	8	16,1
	Aço CA-60 B	5	6,9
Armadura transversal para laje da piscina	Aço CA-50 A	6,3	96,9
	Aço CA-50 A	8	8
	Aço CA-60 B	5	28,9
Armadura para C1*	Aço CA-50 A	10	62,5
	Aço CA-50 A	16	27,3
	Aço CA-60 B	5	20,5
Armadura para C2*	Aço CA-50 A	10	65,9
	Aço CA-50 A	16	28,6
	Aço CA-60 B	5	21,5
Armadura para C3*	Aço CA-50 A	10	31,4
	Aço CA-50 A	16	12,8
	Aço CA-60 B	5	21,5
Armadura para C4*	Aço CA-50 A	10	144
	Aço CA-50 A	16	62,6
	Aço CA-60 B	5	47
Armadura para C5*	Aço CA-50 A	10	32,6
	Aço CA-50 A	16	15,3
	Aço CA-60 B	5	11,4
Armadura para C6*	Aço CA-50 A	10	206,6
	Aço CA-50 A	16	90,5
	Aço CA-60 B	5	67,9

* - A posição das cortinas é a mesma, porém atingem uma profundidade menor do solo.

Ao se fazer a diferença das quantidades de insumos apresentadas nas Tabelas 20 e 21, obteve-se um total de 164,7 kg de aço CA-50 A de diâmetro 6,3 mm, 50,4 kg de aço CA-50 A de diâmetro 8 mm, 324,59 kg de aço CA-50 A de diâmetro 10 mm e 117,3 kg de aço CA-60 B

de diâmetro 5 mm. Também serão necessários um total de 12,7 m³ de concreto para construção da laje e cortinas do reservatório. Os valores para quantidade de insumos já estão acrescidos de 10% do valor final para contemplar as perdas e desperdício de material.

Assim, a estimativa para a quantidade de insumos necessários para construção do reservatório tratado neste estudo é de 270 kg de aço CA-50 A de diâmetro 6,3 mm, 82,6 kg de aço CA-50 A de diâmetro 8 mm, 532,1 kg de aço CA-50 A de diâmetro 10 mm, 192,3 kg de aço CA-60 B de diâmetro 5 mm, e 20,8 m³ de concreto.

5.4 Desinfecção de Água

A Tabela 22 apresenta os dados de doses de radiação UV necessários para inativação de 99% de organismos patogênicos.

Tabela 22 - Dose de radiação ultravioleta para inativação de microrganismos patogênicos.

TIPO	MICROORGANISMO	DOSAGEM NECESSÁRIA
-	-	(mWs/cm ²)
Bactéria	<i>Bacillus anthracis</i>	8,7
	<i>B. subtilis</i> (esporos)	22
	<i>B. subtilis</i> (vegetativo)	11
	<i>Clostridium tetani</i>	22
	<i>Corynebacterium diphtheria</i>	6,5
	<i>Escherichia coli</i>	6,6
	<i>Legionella pneumophila</i>	2,8
	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	26,4
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10
	<i>Salmonella enteritidis</i>	7,6
	<i>Sarcina lutea</i>	10,5
	<i>Shigella dysenteriae</i>	4,2
	<i>Shigella flexneri</i>	3,4
	<i>Shigella sonnei</i>	5
	<i>Staphylococcus aureus</i>	6,6
	<i>Vibrio cholerae</i>	6,5
Vírus	Vírus da influenza	6,6
	Vírus da poliomyelitis	14
	Rotavírus	15 - 40
Esporos	<i>Aspergillus flavus</i>	99
	<i>Aspergillus niger</i>	330
	<i>Mucor racemosus A</i>	35,2
	<i>Mucor racemosus B</i>	35,2
	<i>Oospora lactis</i>	11
	<i>Penicillium digitatum</i>	88
	<i>Penicillium expansum</i>	22
	<i>Penicillium roqueforti</i>	26,4
	<i>Rhizopus nigricans</i>	220

Fungos	Fungo de pão	8,8
	Fungo de cerveja	6,6
	Fungos comuns de bolo	13,2
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	13,2
	<i>Saccharomyces sp.</i>	17,6
Algas/Protozoários	Verde-Azul	600
	<i>Chlorella vulgaris</i>	22
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	120
	Ovos de nematóides	92
	<i>Paramecium</i>	200

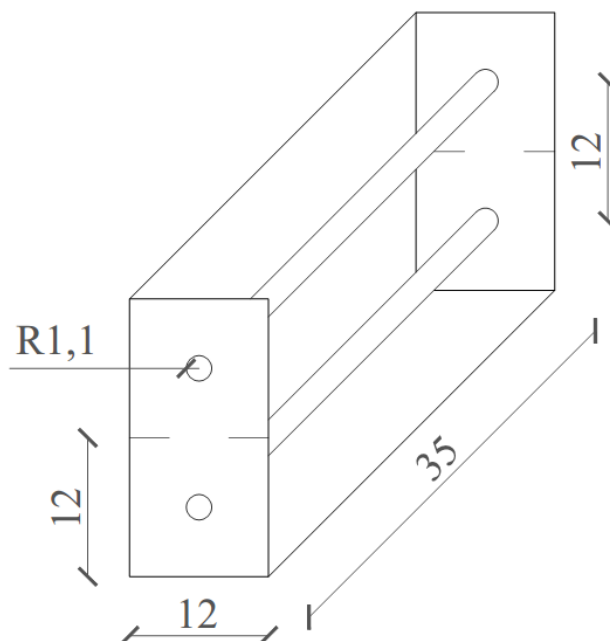
Fonte: Edstrom Industries (2003) e Wright e Cairns (1998) apud Lobo (2008).

Através dos dados apresentados na Tabela 22, nota-se que ao se utilizar uma dose de radiação de 600 mWs/cm², há uma inativação de uma grande quantidade de microrganismos que podem causar danos à saúde humana, portanto, essa dose é a mais adequada para se adotar no sistema de desinfecção da água pluvial. A absorvância (A) da água utilizada no projeto foi de 0,131, a mesma identificada por Filho et al. (2007), para a água bruta do reservatório de Guarapiranga, localizado em São Paulo - SP, em seu estudo sobre os efeitos da ozonização sobre algumas das variáveis de qualidade da água. Estes valores foram selecionados considerando uma situação crítica de qualidade da água, para que assim se tenha uma eficiência real do sistema ainda maior.

Assim, sabendo-se da dose de radiação a ser utilizada no processo de desinfecção da água, estipulou-se 5 segundos como tempo de exposição, 5 cm como trajetória percorrida pela radiação ultravioleta, e 0,01 m³ como o volume desinfetado. Os valores estipulados foram obtidos através de simulações para se obter uma câmara de desinfecção mais compacta e com uma menor quantidade de lâmpadas utilizadas. A lâmpada utilizada para o dimensionamento do sistema é a de modelo HOK 35/120, que possui uma potência após 100 horas de uso de 520 W, 35 cm de comprimento e 2,2 cm de diâmetro.

Ao utilizar estes dados, o sistema de desinfecção por ultravioleta que deve ser utilizado para desinfecção da água neste estudo deve conter 2 lâmpadas dispostas com um espaçamento de 0,12 m entre si, e a vazão utilizada para funcionamento deste sistema é de 7,2 m³/s. A disposição do sistema de desinfecção é mostrada na Figura 8.

Figura 8 - Dimensões do sistema de desinfecção de água pluvial, com cotas em centímetros.



5.5 Bombas

O modelo de disposição do sistema de recalque da água pluvial armazenada está representado, simplificada, pela Figura 9. Analisando este modelo, tem-se um sistema com um desnível de 11,67 m e uma tubulação de recalque com comprimento de 18,31 m. Assim, considerando a tubulação com diâmetro nominal de 25 mm, obteve-se uma altura manométrica total de aproximadamente 13,2 mca. Portanto, a bomba que melhor se encaixa neste sistema é a de modelo BC-91 S/T, com potência de 1 cavalo, como apresentado na Figura 10.

Figura 9 - Esquematização da disposição do sistema de recalque, com cotas em centímetros.

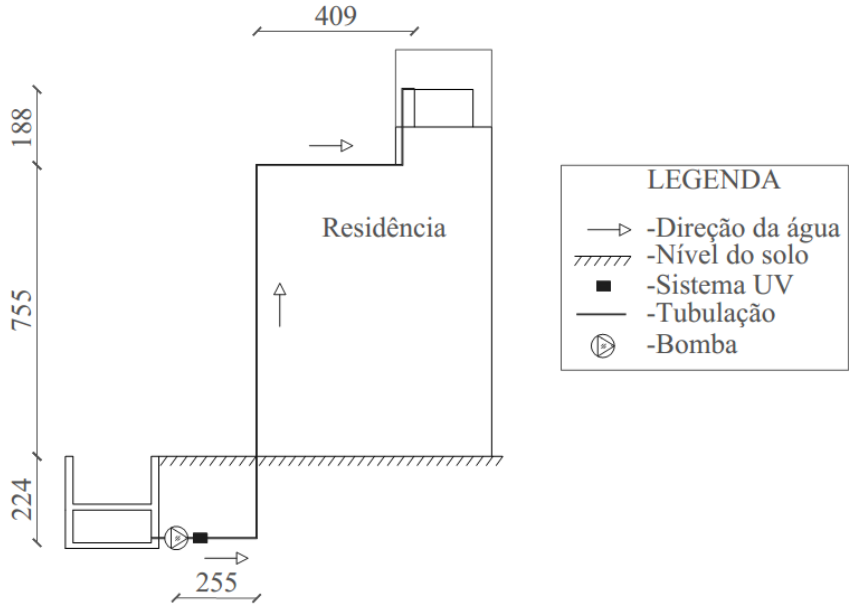


Figura 10 - Tabela de seleção de bombas da marca Schneider.

MODELO									CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																			
									Altura Manométrica Total (m.c.a.)																			
									2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	18	20	22	24	26	
									Vazão em m³/h válida para sucção de 0 m.c.a.																			
BC-91S/T	1/6	x		1 1/4	1	13	8	83	7,5	7,0	6,6	6,1	5,6	5,0	4,5	3,8	3,1	2,3										
	1/4	x		1 1/4	1	15	8	92	8,2	7,9	7,5	7,1	6,7	6,3	5,9	5,4	4,8	4,3	3,6	2,8	1,8							
	1/3	x	x	1 1/4	1	18	8	97	*	*	*	8,0	7,7	7,3	6,9	6,5	6,1	5,6	5,2	4,6	4,1	2,7						
	1/2	x	x	1 1/4	1	23	8	111	*	*	*	*	*	*	7,7	7,4	7,2	6,9	6,6	6,3	6,0	5,3	4,5	3,4				
	3/4	x	x	1 1/4	1	26	8	120	*	*	*	*	*	*	*	7,6	7,3	7,1	6,8	6,6	6,0	5,4	4,7	3,9	2,8			
	1	x	x	1 1/4	1	28	8	123	*	*	*	*	*	*	*	*	*	7,6	7,3	7,1	6,5	6,0	5,3	4,6	3,8	2,7		

Fonte: Franklin Eletric (2017).

5.6 Payback

Os custos dos materiais necessários para implantação do sistema de reaproveitamento de água pluvial calculados a partir da tabela SINAPI estão apresentados na Tabela 23. Os custos dos demais equipamentos estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 23 - Preços totais dos insumos calculados para sistema de reaproveitamento de água pluvial.

CÓDIGO	DESCRIÇÃO DO INSUMO	QTD.	UNID.	CUSTO POR UNIDADE (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)
00000032	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão.	270,0	kg	3,44	928,72
00000033	Aço CA-50, 8,0 mm, vergalhão.	82,6	kg	3,87	319,73
00000034	Aço CA-50, 10,0 mm, vergalhão.	532,1	kg	3,29	1750,53
00000039	Aço CA-60, 5,0 mm, vergalhão.	192,3	kg	3,26	626,84
00034493	Concreto auto adensável (CAA) classe de resistência C25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, exclui serviço de bombeamento.	20,8	m³	238,42	4963,46
00000366	Areia fina – posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte).	0,28	m³	60,28	16,88
00011079	Material filtrante (pedregulho) 0,6 a 25,46 mm (posto pedreira/fornecedor, sem frete).	0,1	m³	643,76	64,38
00009866	Tubo PVC, roscavel, 1”, água fria predial.	18,5	m	9,50	175,75
0009856	Tubo PVC, roscavel, 1/2”, água fria predial.	4,4	m	3,59	15,80
00009867	Tubo PVC, soldável, DN 20 mm, água fria.	1,1	m	1,90	2,09
00001939	Curva PVC 90 graus, roscavel, 1”, água fria predial.	4	un	4,44	17,76
00001197	CAP PVC, roscavel, 1/2", para água fria predial.	16	un	0,82	13,12

Fonte: SINAPI (2017).

Tabela 24 - Preço total das peças a serem adquiridas para o sistema de reaproveitamento de água pluvial.

PEÇAS	IDENTIFICAÇÃO	QTD.	CUSTO TOTAL (R\$)
Caixa d'água de 2000 L	COD: 22992058	1	742,41
Caixa d'água de 5000 L	COD: 89031621	1	1824,90
Lâmpadas UV - Philips	HOK 35/120	2	5800
Bomba - Schneider	BC-91 S/T	1	1026

O custo total de implantação do sistema é de R\$ 18288,37. Ao se analisar os resultados apresentados nas Tabelas 23 e 24, percebe-se que o reservatório inferior de água pluvial é o local onde se tem o maior investimento, o que está de acordo com o mostrado por May (2004), que concluiu que o reservatório de água pluvial é um dos pontos de maior gasto do sistema de reaproveitamento de água pluvial, e portanto, deve ser pensado maneiras de se reduzir o custo final deste, podendo, por exemplo, ser construído junto a construção da residência, assim como foi planejado neste estudo.

Outro ponto onde se terá um maior gasto será com as lâmpadas ultravioletas, porém este gasto é justificado devido à alta potência da lâmpada selecionada, sendo está bem acima das lâmpadas UV's convencionais. Este aumento na potência gera uma diminuição na quantidade de lâmpadas necessárias e também no volume do compartimento de desinfecção, justificando assim a opção por uma lâmpada com uma maior potência, que resulta em um sistema mais compacto e de fácil manutenção.

Para que se tenha uma melhor utilização da bomba e das lâmpadas ultravioleta, aumentando assim o tempo de vida útil destes equipamentos, estes sistemas serão ligados apenas uma vez por dia, sendo utilizados apenas para completar a água consumida durante o dia em questão. Assim, este sistema funcionará apenas 0,07 horas por dia, gerando um aumento de R\$ 8,53 ao fim do mês, considerando as potências da bomba e da lâmpada iguais a 1 CV e 4200 W, respectivamente.

Para o desconto no valor da água, considerou-se um consumo médio de 30 m³/mês sem a substituição da água potável por água pluvial, e sabendo-se que em média se reduzirá 9,445 m³/mês, o volume de água potável consumido mensalmente passará a ser de 20,555 m³/mês. Portanto, o valor a ser descontado devido ao menor gasto de água é de R\$ 29,42 ao fim do mês.

Além deste valor a ser descontado, há ainda a possibilidade da redução em até 30% do imposto territorial urbano (IPTU), de acordo com o artigo 148 da Lei Municipal 10700 (UBERLÂNDIA, 2011), que diz:

“Os projetos aprovados com reaproveitamento de águas pluviais poderão ser beneficiados com concessão de desconto no Imposto Territorial Urbano - IPTU.”

Porém, este valor não pôde ser calculado pois esta lei não apresenta os critérios de avaliação para determinação da porcentagem de desconto, sendo então este valor determinado por algum técnico do município, após a abertura do processo de pedido de redução do IPTU.

Assim, o tempo de retorno do investimento feito para implantação do sistema de reaproveitamento de água pluvial na residência tratada neste estudo é de 73 anos. Este resultado mostra que o sistema tratado neste estudo é financeiramente inviável, ao se considerar que a expectativa de vida de um brasileiro nascido no estado de Minas Gerais, no ano de 2015, era de 77 anos, segundo o IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, [s.d.]).

Este período é consequência da quantidade de água que foi projetado para substituição, pois ao se aumentar o número de locais onde a água potável será substituída por água pluvial, há um aumento nas dimensões das estruturas e também um aumento na exigência para a qualidade da água, o que faz com que o preço investido inicialmente para atender estas condições seja também bastante elevado.

Além do alto valor de investimento, o desconto mensal no valor cobrado pela água é bastante baixo, considerando que o preço cobrado pela água no Brasil é também bastante baixo, devido ao fato de o país ainda ter uma grande disponibilidade hídrica. Porém, caso o modelo de consumo de água não seja mudado, problemas de escassez de água poderão ocorrer com mais frequência, mostrando assim a importância de uma maior valorização deste recurso, e consequentemente, mostrando a importância de se utilizar maneiras de reutilizar a água.

6 CONCLUSÃO

Através deste estudo, percebeu-se que ainda é preciso mais trabalhos sobre o assunto de reutilização de água pluvial em residências, pois o custo de implantação do sistema ainda é bastante alto. Este projeto se mostrou economicamente inviável devido ao alto valor de investimento inicial e também ao elevado tempo de retorno deste investimento, o que seria um fator desencorajador as pessoas dispostas a fazer uso deste sistema.

É preciso que se pesquise novas maneiras para redução do custo do projeto, principalmente para o reservatório de água pluvial, que é parte fundamental do sistema de reutilização de água pluvial e também é o ponto onde se tem o maior gasto. Se tratando do sistema de desinfecção, é preciso que se faça mais estudos sobre a qualidade da água da chuva coletada pelo telhado de residências, para a cidade de Uberlândia, pois assim poderia ser determinado com precisão os organismos patogênicos que podem ser encontrados nesta região do país, fato que poderia reduzir a dose de radiação necessária, caso não fosse encontrado espécies mais resistentes a radiação na água.

Porém, o presente trabalho se mostrou ambientalmente viável, pois com este sistema foi possível reduzir em aproximadamente 9,5 m³ o consumo de água potável em um mês, que é utilizada em locais onde não há necessidade deste tipo de água. A redução deste volume, se pensado para utilização do projeto em larga escala em uma cidade, reduziria bastante a quantidade de água que seria retirada de um rio, permitindo assim que todo o ecossistema que depende da água deste afluente sofresse menos com o impacto causado pela retirada deste volume.

Portanto, analisando os resultados deste estudo, conclui-se que é viável a construção deste sistema de reutilização de água pluvial caso seja utilizado em grande escala, ou seja, em condomínios fechados contendo várias residências de alto padrão, pois, levando em consideração que a residência é de alto padrão, o valor investido não terá um impacto significativo no valor final gasto para construção da residência, e além deste fato, o benefício gerado pela redução do consumo de água será bastante significativo, pois este elemento é de grande importância para manutenção da vida e dos ecossistemas no planeta.

REFERENCIAS

- ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, v. 243, n. 1, p. 195–207, 1 jul. 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013**. Brasília: [s.n.].
- AHMED, W. et al. Fecal Indicators and Zoonotic Pathogens in Household Drinking Water Taps Fed from Rainwater Tanks in Southeast Queensland, Australia. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 1, p. 219–226, 1 jan. 2012.
- AKTER, A.; AHMED, S. Potentiality of rainwater harvesting for an urban community in Bangladesh. **Journal of Hydrology**, v. 528, p. 84–93, set. 2015.
- ALADENOLA, O. O.; ADEBOYE, O. B. Assessing the Potential for Rainwater Harvesting. **Water Resources Management**, v. 24, n. 10, p. 2129–2137, 1 ago. 2010.
- AN, K. J. et al. Multi-purpose rainwater harvesting for water resource recovery and the cooling effect. **Water Research**, v. 86, p. 116–121, 1 dez. 2015.
- APPAN, A. A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 317–321, dez. 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. . abr. 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5626: Instalação predial de água fria. . set. 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15527: Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: Requisitos. . 24 set. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15569: Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto: Projeto e instalação. . 18 fev. 2008.
- BLANCHOU, H. et al. Herbicides and nitrogen in precipitation: progression from west to east and contribution to the Marne river (France). **Chemosphere**, v. 47, n. 9, p. 1025–1031, jun. 2002.
- BOCANEGRA-MARTÍNEZ, A. et al. Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 84, p. 44–56, mar. 2014.
- CHARTERS, F. J.; COCHRANE, T. A.; O’SULLIVAN, A. D. Untreated runoff quality from roof and road surfaces in a low intensity rainfall climate. **Science of The Total Environment**, v. 550, p. 265–272, 15 abr. 2016.
- CHIU, Y. R.; LIAW, C. H.; TSAI, Y. L. **Harvesting rainwater, an innovative approach to easing urban water-energy dilemma**. Proceedings of the 14th International Conference on

Rainwater Catchment Systems, Kuala Lumpur. **Anais...**2009Disponível em: <<http://eng.warwick.ac.uk/ircsa/pdf/14th/papers/P12-3%20Chiu.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2016

CISAM; AMVAP. **Manual de Saneamento Rural**. Uberlândia, nov. 2006.

DA COSTA PACHECO, P. R. et al. A view of the legislative scenario for rainwater harvesting in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 290–294, 10 jan. 2017.

DA CRUZ BEZERRA, S. M. et al. 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. **CEP**, v. 80230, p. 901, 2010.

DA SILVA, V. J. et al. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. Performance of different methods of estimating the daily reference evapotranspiration in Uberlandia, MG. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, 2011.

DANIEL, L. A. et al. **Métodos alternativos de desinfecção da água**. 1. ed. São Carlos: PROSAB, 2001.

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

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO DE UBERLÂNDIA. **Portal DMAE**. Disponível em: <<http://www.dmae.mg.gov.br/>>. Acesso em: 12 maio. 2017.

DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; LIBÂNO, M. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 155–166, jun. 2010.

FARRENY, R. et al. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. **Water Research**, v. 45, n. 10, p. 3245–3254, maio 2011.

FARRENY, R.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighborhoods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 7, p. 686–694, maio 2011.

FERREIRA, D. F. **Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis - SC**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, jun. 2005.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. Evaluation of models to estimate net radiation and the Priestley-Taylor method in the region of Dourados, MS, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 449–453, ago. 2009.

FILHO, L. et al. Treatability of Guarapiranga reservoir water: effects of ozonation on some water quality variables. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 212–221, jun. 2007.

FRANKLIN ELETRIC. **Tabela para seleção de motobombas 2017**, 2017.

GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 11, p. 1544–1550, nov. 2006.

GHISI, E.; BRESSAN, D. L.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1654–1666, abr. 2007.

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 204–210, fev. 2006.

GHISI, E.; TAVARES, D. DA F.; ROCHA, V. L. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 2, p. 79–85, dez. 2009.

GIKAS, G. D.; TSIHRINTZIS, V. A. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. **Journal of Hydrology**, v. 466–467, p. 115–126, 12 out. 2012.

Google Earth. [s.l: s.n.].

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Sabesp**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/Default.aspx>>. Acesso em: 29 maio. 2017.

HANDIA, L.; TEMBO, J. M.; MWIINDWA, C. Potential of rainwater harvesting in urban Zambia. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 28, n. 20–27, p. 893–896, 2003.

HAQUE, M. M.; RAHMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. **Journal of Cleaner Production**, [s.d.].

HASHIM, H. et al. Simulation based programming for optimization of large-scale rainwater harvesting system: Malaysia case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 80, p. 1–9, nov. 2013.

HELMREICH, B.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting. **Desalination**, v. 248, n. 1–3, p. 118–124, nov. 2009.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 307–316, dez. 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da população**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 1 nov. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE - Agência de Notícias**. Disponível em: <<http://2.agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/9490-em-2015-esperanca-de-vida-ao-nascer-era-de-75-5-anos.html>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 9 jan. 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS; GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: [s.n.].

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - LAVADORAS DE ROUPA E SECADORA AUTOMÁTICAS COM ABERTURA FRONTAL (LAVA E SECA)**. [s.l: s.n.].

JONES, M. P.; HUNT, W. F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 10, p. 623–629, ago. 2010.

LEE, J. Y.; BAK, G.; HAN, M. Quality of roof-harvested rainwater – Comparison of different roofing materials. **Environmental Pollution**, v. 162, p. 422–429, mar. 2012.

LEE, K. E. et al. Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p. 218–222, 10 jul. 2016.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**, v. 260, n. 1–3, p. 1–8, 30 set. 2010.

LIU, J. et al. A comprehensive analysis of blue water scarcity from the production, consumption, and water transfer perspectives. **Ecological Indicators**, v. 72, p. 870–880, jan. 2017.

LOBO, M. G. **Avaliação da desinfecção de água por reator utilizando radiação ultravioleta**. text—Joenvile, SC: Universidade da Região de Joenvile, 15 dez. 2008.

MAHMOUD, W. H. et al. Rainfall conditions and rainwater harvesting potential in the urban area of Khartoum. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 91, p. 89–99, set. 2014.

MAHUGIJA, J. A. M.; HENKELMANN, B.; SCHRAMM, K.-W. Levels and patterns of organochlorine pesticides and their degradation products in rainwater in Kibaha Coast Region, Tanzania. **Chemosphere**, v. 118, p. 12–19, jan. 2015.

MATOS, C. et al. Rainwater storage tank sizing: Case study of a commercial building. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 2, n. 2, p. 109–118, dez. 2013.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 13 maio 2004.

MENDEZ, C. B. et al. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**, v. 45, n. 5, p. 2049–2059, fev. 2011.

MIMURA, A. M. S. et al. Chemical composition monitoring of tropical rainwater during an atypical dry year. **Atmospheric Research**, v. 169, Part A, p. 391–399, 1 mar. 2016.

MORALES-PINZÓN, T. et al. Financial feasibility and environmental analysis of potential rainwater harvesting systems: A case study in Spain. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, p. 130–140, dez. 2012.

MORALES-PINZÓN, T. et al. Modelling for economic cost and environmental analysis of rainwater harvesting systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 613–626, jan. 2015.

MORUZZI, R. B. et al. Rainwater harvesting evaluation for non-potable use at São Paulo International Airport/Guarulhos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 17–28, mar. 2016.

MWENGE KAHINDA, J.; TAIGBENU, A. E. Rainwater harvesting in South Africa: Challenges and opportunities. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, 11th WaterNet/WARFSA/GWP-SA Symposium: IWRM for National and Regional Integration through Science, Policy and Practice. v. 36, n. 14–15, p. 968–976, 2011.

MWENGE KAHINDA, J.; TAIGBENU, A. E.; BOROTO, J. R. Domestic rainwater harvesting to improve water supply in rural South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, Mainstreaming Integrated Water Resources Management in the Development Process. v. 32, n. 15–18, p. 1050–1057, 2007.

NALWANGA, R. et al. A study of the bacteriological quality of roof-harvested rainwater and an evaluation of SODIS as a suitable treatment technology in rural Sub-Saharan Africa. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 6 dez. 2016.

OKOYE, C. O.; SOLYALI, O.; AKINTUĞ, B. Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: A linear programming approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 104, Part A, p. 131–140, nov. 2015.

OLIVEIRA, T. D. DE; CHRISTMANN, S. S.; PIEREZAN, J. B. APROVEITAMENTO, CAPTAÇÃO E (RE) USO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NA ARQUITETURA. **REVISTA GESTÃO E DESENVOLVIMENTO EM CONTEXTO**, v. 2, n. 2, p. 01–15, 2015.

PALLA, A. et al. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 62, p. 71–80, maio 2012.

PELAK, N.; PORPORATO, A. Sizing a rainwater harvesting cistern by minimizing costs. **Journal of Hydrology**, v. 541, Part B, p. 1340–1347, out. 2016.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba, FEALQ, 1997. 183p.

PETERSON, E. L. Transcontinental assessment of secure rainwater harvesting systems across Australia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 106, p. 33–47, jan. 2016.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, v. 100, n. 2, p. 81–92, 1972.

REBOITA, M. S. et al. ASPECTOS CLIMÁTICOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CLIMATE ASPECTS IN MINAS GERAIS STATE). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, n. 0, 2015.

SAMPLE, D. J.; LIU, J. Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. **Journal of Cleaner Production**, v. 75, p. 174–194, 15 jul. 2014.

SANCHES FERNANDES, L. F.; TERÊNCIO, D. P. S.; PACHECO, F. A. L. Rainwater harvesting systems for low demanding applications. **Science of The Total Environment**, v. 529, p. 91–100, out. 2015.

SANTOS, C.; TAVEIRA-PINTO, F. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 71, p. 1–6, fev. 2013.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOTSINIDIS, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**, v. 41, n. 9, p. 2039–2047, maio 2007.

SILVA, A. S.; GHISI, E. Uncertainty analysis of daily potable water demand on the performance evaluation of rainwater harvesting systems in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, v. 180, p. 82–93, 15 set. 2016.

SILVA, C. M.; SOUSA, V.; CARVALHO, N. V. Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 94, p. 21–34, jan. 2015.

SINAPI. **Preços de Insumos**, set. 2017. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648>. Acesso em: 10 set. 2017

STEC, A.; KORDANA, S. Analysis of profitability of rainwater harvesting, gray water recycling and drain water heat recovery systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 84–94, dez. 2015.

STURM, M. et al. Rainwater harvesting as an alternative water resource in rural sites in central northern Namibia. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, 9th WaterNet/WARFSA/GWP-SA Symposium: Water and Sustainable Development for Improved Livelihoods. v. 34, n. 13–16, p. 776–785, 2009.

TAVAKOL-DAVANI, H. et al. How does climate change affect combined sewer overflow in a system benefiting from rainwater harvesting systems? **Sustainable Cities and Society**, v. 27, p. 430–438, nov. 2016.

THOMAS, R. B. et al. Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 75, p. 166–173, 15 jul. 2014.

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

TOMAZ, P. **Curso de manejo de águas pluviais**. [s.l: s.n.].

UBERLÂNDIA. Lei nº 10.700. Dispõe sobre a política de proteção, controle e conservação do meio ambiente, revoga a Lei complementar nº 17, de 04 de dezembro de 1991 e suas alterações, e dá outras providências. . 3 set. 2011.

UBERLÂNDIA. Decreto nº 16439. Dispõe sobre as tarifas de consumo de água e do uso do sistema de esgotamento sanitário e demais preços dos serviços prestados pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto - DMAE, revoga os decretos nºs 15.663, de 30 de abril de 2015, 15.710, de 20 de maio de 2015 e 15.764, de 11 de junho de 2015 e dá outras providências. . 19 abr. 2016, p. 21.

VIALLE, C. et al. Environmental analysis of a domestic rainwater harvesting system: A case study in France. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 102, p. 178–184, set. 2015.

VIALLE, C. et al. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. **Water Research**, v. 45, n. 12, p. 3765–3775, 1 jun. 2011.

VIEIRA, A. S. et al. Energy intensity of rainwater harvesting systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 225–242, jun. 2014.

VILLARREAL, E. L.; DIXON, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. **Building and Environment**, v. 40, n. 9, p. 1174–1184, i set. 2005.

WARD, S. et al. Rainwater harvesting in the UK: Socio-technical theory and practice. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 7, p. 1354–1361, set. 2012.

WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Performance of a large building rainwater harvesting system. **Water Research**, v. 46, n. 16, p. 5127–5134, 15 out. 2012.

YOSHINO, G. H. O aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na cidade universitária professor José da Silveira Netto-Belém/PA. 2012.

YOUN, S. et al. Probabilistic estimation of the storage capacity of a rainwater harvesting system considering climate change. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 65, p. 136–144, ago. 2012.

ZAIZEN, M. et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**, v. 1, p. 355–359, 1999.

ZHANG, D. et al. Decentralized water management: rainwater harvesting and greywater reuse in an urban area of Beijing, China. **Urban Water Journal**, v. 6, n. 5, p. 375–385, 2009.

ANEXO A – RESIDÊNCIA UTILIZADA COMO MODELO

Figura 11 - Planta do pavimento térreo, com cotas em centímetros.

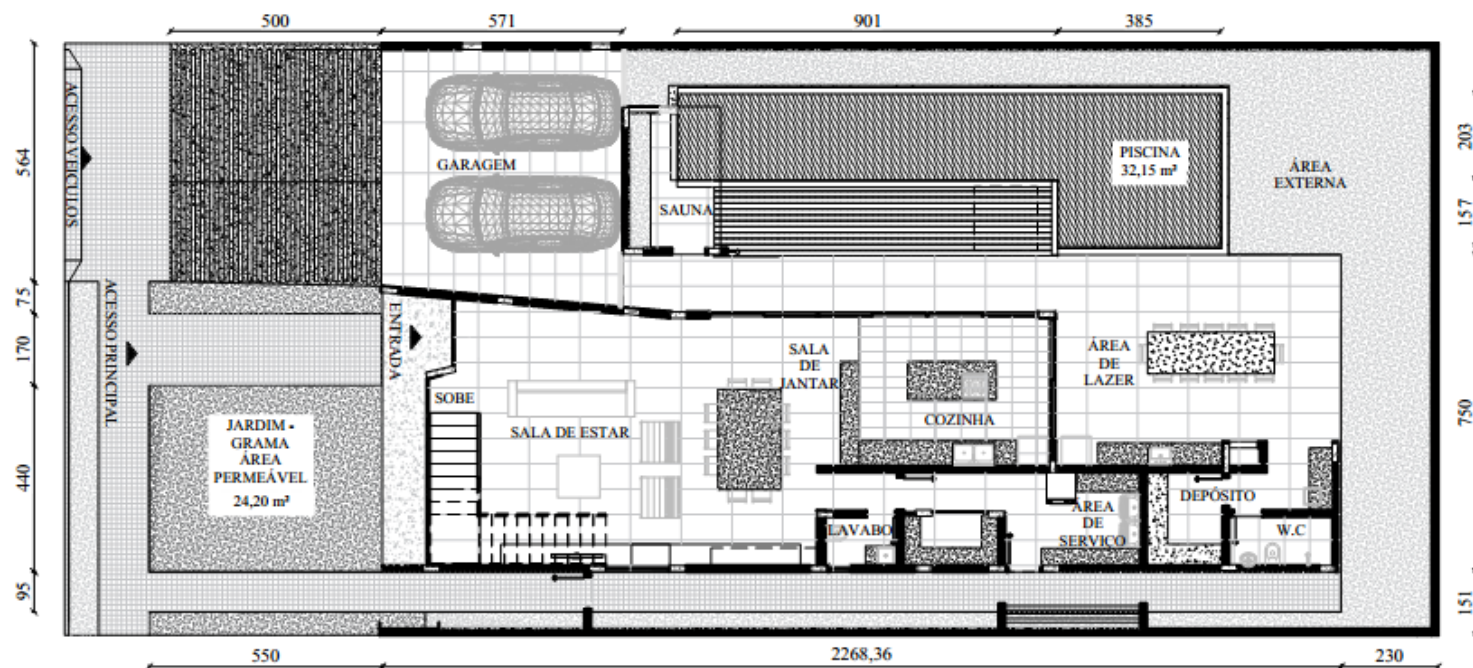


Figura 12 - Planta do pavimento superior, com cotas em centímetros.

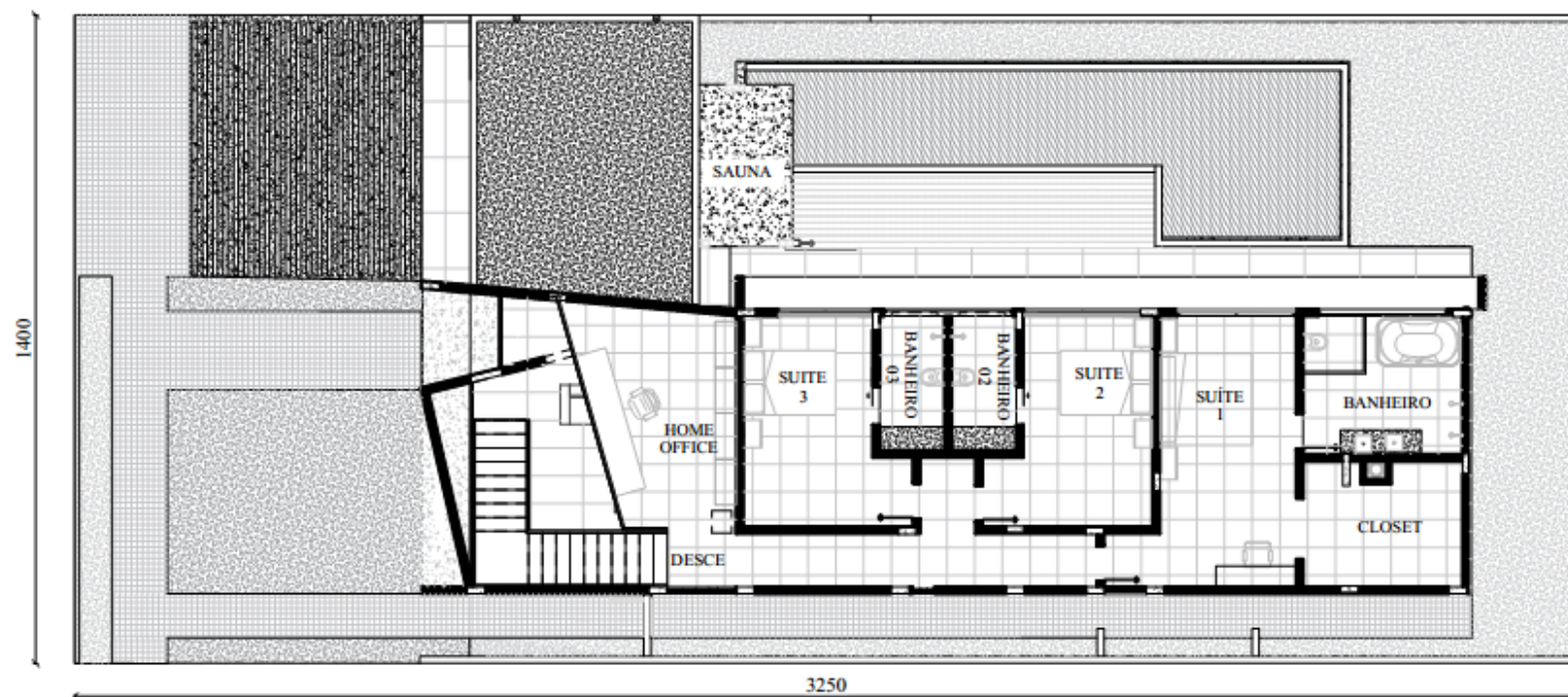


Figura 13 - Corte A-A, com cotas em centímetros.

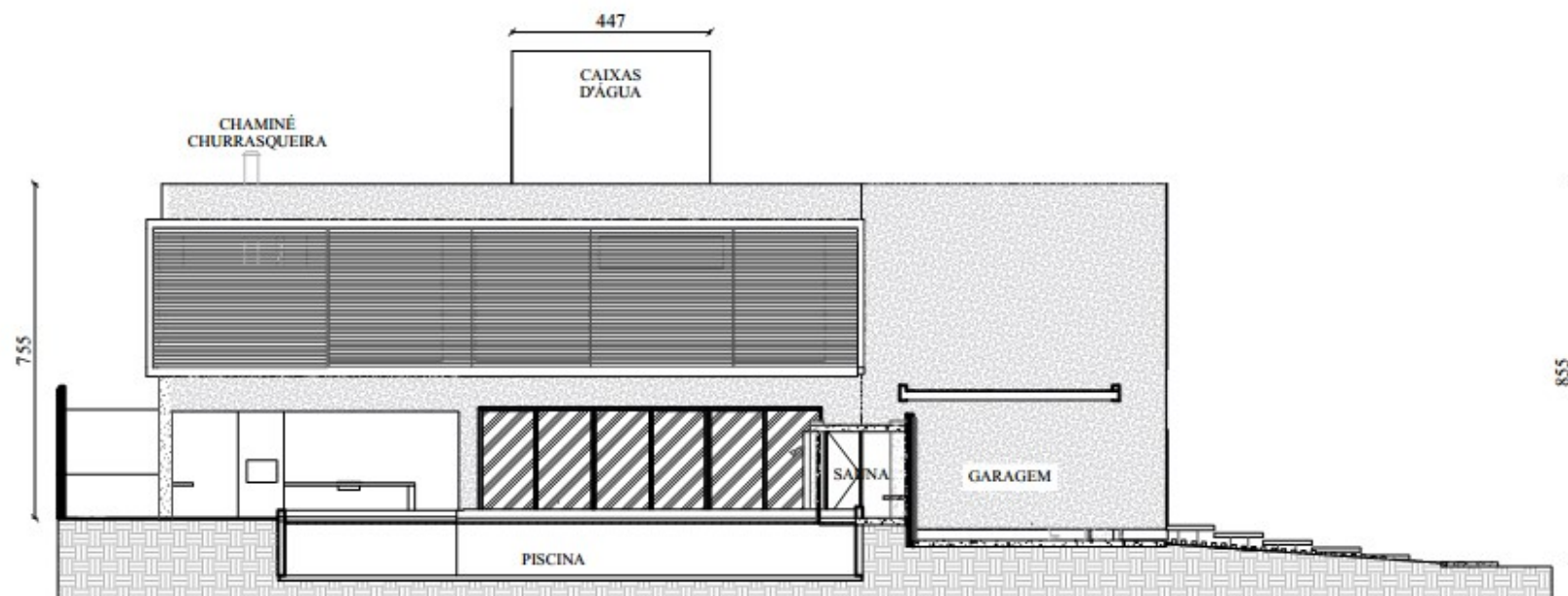


Figura 14 - Corte B-B, com cotas em centímetros.

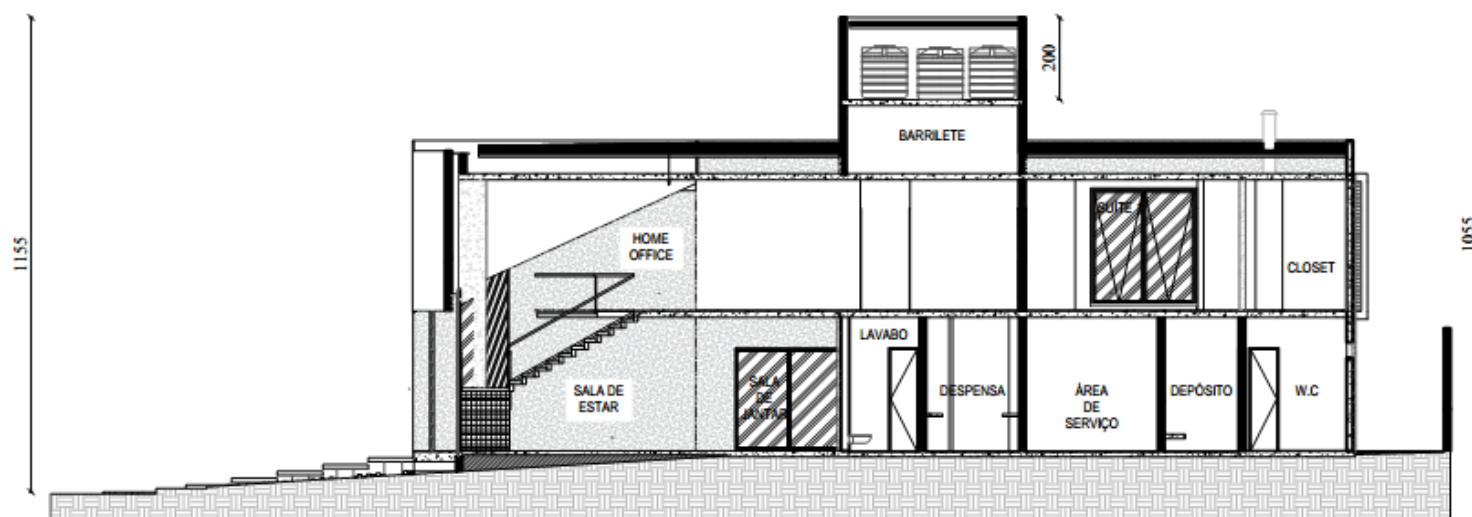


Figura 15 - Corte C-C, com cotas em centímetros.

