

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

DALISSON ALVES GUIMARÃES

**VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

Uberlândia-MG

Julho – 2018

DALISSON ALVES GUIMARÃES

**VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Engenharia Civil, da Universidade
Federal de Uberlândia, para
obtenção do título de Engenheiro
Civil.

Orientador: Prof.º Dr. Márcio Ricardo Salla

Uberlândia-MG

Julho – 2018

À minha mãe Maria de Fátima, pelo
apoio e suporte que tornou a
graduação possível!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família por cada um dos momentos vivenciados que trouxeram aprendizado. Pelo suporte emocional e financeiro durante os cinco anos de graduação, possibilitando que eu pudesse concluir esta etapa de grande importância em minha vida.

Em especial agradeço a minha mãe Fátima, que sempre apoiou meus estudos desde o início, sem medir esforços para ajudar no que fosse preciso apesar de cada uma das dificuldades. Sem você eu não conseguiria.

Sou grato ao grupo “Pras aulas”, amigos que fiz durante a faculdade que me auxiliaram durante toda esta jornada, me proporcionando trocas de experiências profissionais e de vida, estando presentes em cada um dos passos dados.

Aos todos os professores que passaram pela minha vida, do ensino primário ao superior, pelo conhecimento passado, conselhos e lições de vida. Agradeço em especial ao professor Márcio Salla pela orientação do trabalho desenvolvido.

Por último, agradeço aos melhores amigos que fiz nesta vida, Douglas, Helderson, Lucas, Leonardo e Matheus, que me apoiaram constantemente durante todo este processo, em cada momento de alegria ou dificuldade.

RESUMO

Dentre as diversas tecnologias disseminadas nas últimas décadas, o reaproveitamento de águas pluviais tem se mostrado uma alternativa simples e eficaz para a redução do consumo de água potável. O sistema mais comum de reaproveitamento de água da chuva consiste em fazer a captação de águas provenientes de coberturas, seguido dos tratamentos necessários e armazenamento em reservatórios para a posterior distribuição em pontos onde não é necessária a utilização de águas potáveis. Tornam-se então necessários estudos para verificar a possibilidade de aplicação do aproveitamento pluvial em diversas regiões e em edificações de diferentes categorias, e neste âmbito a pesquisa em questão se desenvolveu. Foi analisada a aplicação do sistema em uma residência unifamiliar na cidade de Uberlândia-MG, com o objetivo de verificar a possibilidade de implantação do sistema sob os pontos de vista quantitativo e econômico. Para isso, primeiramente analisou-se o regime hídrico da região, constatando-se a viabilidade do sistema sob o ponto de vista quantitativo, conseguindo-se suprir grande parte das demandas não-potáveis. Em seguida, dimensionou-se cada um dos componentes do sistema para posterior orçamento e análise econômica. O dimensionamento dos reservatórios foi feito utilizando os métodos presentes na norma brasileira que regulamenta a captação e armazenamento de águas de chuva para usos não-potáveis, a ABNT NBR 15527:2007. Os resultados foram comparados entre si e também com o método computacional apresentado no programa Netuno. Fazendo estas comparações, notou-se que os métodos da Iteração e Prático Alemão, juntamente com o método Netuno, apresentaram melhores valores para os reservatórios do ponto de vista econômico, visto que retornaram volumes menores. A análise foi feita para uma residência com área de captação igual a 150,4 m² e considerou 3 demandas: A, B e C, iguais a 4,5 m³, 5,8 m³ e 11,6 m³. Foram encontrados volumes totais de reserva iguais a 3,5 m³, 6m³ e 8,5m³ para as demandas A, B e C respectivamente. A análise econômica foi feita utilizando o programa computacional Netuno, levando em conta os custos de implantação, operação e manutenção do sistema, e para tanto, nenhum dos sistemas A, B e C apresentou viabilidade econômica, não obtendo uma expectativa de retorno de investimento no período de vida útil de 20 anos adotado para o sistema. A não viabilidade do sistema se deve possivelmente às baixas tarifas de água da cidade e ao alto custo de implantação, combinados com a grande variação de chuvas da região.

Palavras-chave: aproveitamento pluvial – SAAP – reservatórios – Viabilidade econômica - retorno

ABSTRACT

Among the several technologies disseminated in the last decades, the reuse of rainwater has been shown to be a simple and effective alternative for the reduction of drinking water consumption. The most common system for reuse of rainwater consists of capturing water from roofs, followed by the necessary treatments and storage in reservoirs for later distribution at points where it is not necessary to use potable water. Studies are therefore needed to verify the possibility of applying rainfall in different regions and buildings of different categories, and in this context the research in question has developed. The application of the system was analyzed in a single-family residence in the city of Uberlândia-MG, with the objective of verifying the possibility of implantation of the system under the quantitative and economic points of view. For this purpose, the water regime of the region was first analyzed, showing the viability of the system from a quantitative point of view, and it was able to supply a large part of the non-potable demands. Then, each of the components of the system was dimensioned for later budgeting and economic analysis. The sizing of the reservoirs was done using the methods present in the Brazilian standard that regulates the abstraction and storage of rainwater for non-potable uses, ABNT 15527: 2007. The results were compared among themselves and also with the computational method presented in the Neptune 4.0 program. These comparisons showed that the methods of German Iteration and Practice, together with the Neptune 4.0 method, presented better values for the reservoirs from the economic point of view, as smaller volumes returned. The analysis was done for a residence with a catchment area equal to 150.4 m² and considered 3 demands: A, B and C, equal to 4.5 m³, 5.8 m³ and 11.6 m³. Total reserve volumes of 3.5 m³, 6m³ and 8.5m³ were found for demands A, B and C, respectively. The economic analysis was done using the software Netuno, taking into account the costs of implementation, operation and maintenance of the system, and for that, none of the systems A, B and C presented economic feasibility, not obtaining an expectation of return of investment in the 20-year useful life of the system. The non-viability of the system is possibly due to the city's low water tariffs and the high cost of implementation, combined with the region's large rainfall variation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Contextualização	12
1.2 Objetivos gerais	15
1.2.1 Objetivos específicos.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 Normas e leis para o aproveitamento de água da chuva no Brasil	15
2.2 Componentes do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais.....	16
2.2.1 Área de Captação.....	16
2.2.2 Calhas e condutores	18
2.2.3 Removedores de sólidos	20
2.2.4 Dispositivos para descarte de primeira chuva	22
2.2.5 Reservatórios	23
2.2.5.1 Método de Rippl.....	24
2.2.5.2 Método da Iteração	24
2.2.5.3 Método de Azevedo Neto	25
2.2.5.4 Método Prático Alemão.....	25
2.2.5.5 Método Prático Inglês.....	25
2.2.5.6 Eficiência do sistema	25
2.2.6 Sistema de bombeamento	25
2.2.7 Sistema de realimentação com água potável	26
2.3 Demanda de água não potável	27
2.6 Viabilidade econômica	28
2.6.1 Fluxo de caixa.....	28
2.6.2 Valor Presente Líquido	29
3 METODOLOGIA.....	30

3.1 Objeto de estudo	30
3.2 Disponibilidade hídrica	31
3.3 Demandas não-potáveis	32
3.4 Dimensionamento de componentes do sistema	32
3.5 Dimensionamento dos reservatórios pelos métodos da ABNT 15527:2007	33
3.7 Orçamento	37
3.8 Análise econômica.....	37
3.8.1. Netuno	39
4 RESULTADOS E DICUSSÕES	42
4.1 Dimensionamento de calhas, condutores e dispositivo de primeira lavagem	42
4.2 Determinação do volume de reservatório	43
4.2.1 Métodos da ABNT NBR 15527:2007	43
4.2.2. Método Netuno	47
4.3 Orçamento do sistema	51
4.4 Análise financeira – Netuno	53
5 CONCLUSÃO.....	56
BIBLIOGRAFIA	59
ANEXO A – Planilha de dimensionamento Método da Iteração – Demanda A.....	63
ANEXO B - Planilha de dimensionamento Método da Iteração – Demanda B.....	64
ANEXO C - Planilha de dimensionamento Método da Iteração – Demanda C.....	65
ANEXO D – Planilha de dimensionamento método Netuno- Demanda A.....	66
ANEXO E - Planilha de dimensionamento método Netuno- Demanda B.....	67
ANEXO F - Planilha de dimensionamento método Netuno- Demanda B	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de aproveitamento de águas pluviais	14
Figura 2. Área de captação de cobertura	17
Figura 3 Ângulo de inclinação da chuva	17
Figura 4. Calha e condutor vertical	19
Figura 5. Ábaco para dimensionamento de condutores verticais	19
Figura 6. Dimensionamento de condutos horizontais	20
Figura 7. Filtro simples para remoção de sólidos	21
Figura 8. Dispositivo autolimpante Aquasave (3P technik)	21
Figura 9. Dispositivo de primeira lavagem com torneira-boia	22
Figura 10. Dispositivo de autolimpeza ligado a calha	23
Figura 11. Esquema de ligação de sensores para acionamento de bomba	26
Figura 12. Air gap utilizado em realimentação	27
Figura 13. Fluxo de caixa	29
Figura 14. Planta de cobertura da edificação em estudo	30
Figura 15. Disposição do sistema de aproveitamento utilizado	30
Figura 16. Alturas pluviométricas mensais médias [1985-2015]	31
Figura 17. Precipitação diária em Uberlândia [Jan/2011-Jan/2018]	34
Figura 18. Netuno - Dados de entrada	34
Figura 19. Netuno- Dados do reservatório superior	35
Figura 20. Netuno- Inserção de tarifas de água e esgoto	40
Figura 21. Netuno - Inserção de dados da motobomba	40
Figura 22. Volume do reservatório x Potencial de economia (Demanda A)	48
Figura 23. Gráfico: Volume x Percentual da demanda atendida (Demanda A)	48
Figura 24. Volume do reservatório x potencial de economia de água (Demanda B)	49
Figura 25. Volume x Percentual da demanda atendida (Demanda B)	49

Figura 26. Volume do reservatório x Potencial de economia de água (Demanda C).....	50
Figura 27. Volume do reservatório x Percentual da demanda atendida (Demanda C)	50
Figura 28. Estimativas de consumo e economia de água - Demanda A.....	54
Figura 29. Estimativas de consumo e economia - Demanda B	55
Figura 30. Estimativas de consumo e economia - Demanda C	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficiente de runoff.....	18
Tabela 2 Coeficientes de rugosidade (n)	18
Tabela 3. Capacidade de calhas semicirculares (L/min) com coeficiente de rugosidade n= 0,011	19
Tabela 4. Consumo de água para atividades domiciliares.....	27
Tabela 5. Dados da edificação	31
Tabela 6. Demandas mensais por utilização.....	32
Tabela 7. Demandas não-potáveis para análise	32
Tabela 8. Estrutura tarifaria do DMAE, categoria residencial para Uberlândia-MG.....	38
Tabela 9. Histórico de reajustes de tarifa de energia elétrica (2013-2018).....	39
Tabela 10. Dimensionamento de calhas	42
Tabela 11. Dimensionamento dos condutores horizontais	42
Tabela 12. Dimensionamento do dispositivo de primeira lavagem.....	43
Tabela 13. Dimensionamento do reservatório para demanda A- Método de Rippl	44
Tabela 14. Dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl: Demanda B.....	45
Tabela 15. Dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl: Demanda C	46
Tabela 16. Dimensionamento de reservatórios pelo Método da Iteração.....	46
Tabela 18. Resumo do dimensionamento de reservatórios	51
Tabela 19. Custos com mão de obra.....	51

Tabela 20. Custos de tubulações, conexões e acessórios	52
Tabela 21. Custos de acessórios	52
Tabela 22. Custos dos reservatórios	53
Tabela 23. Custos totais de implantação do sistema	53
Tabela 24. Tarifas de água Araxá (MG).....	55
Tabela 25. Viabilidade econômica Araxá (MG)	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Dada a atual situação do planeta frente à problemas ambientais, aumentou-se a preocupação com os recursos hídricos, cada vez mais escassos ao longo dos anos. Em razão disso, diversos estudos têm sido realizados em busca de novas tecnologias visando racionalizar o uso da água e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

Pesquisas feitas em São Paulo identificaram que o consumo de água em residências equivale à cerca de 84,4% da quantidade total consumida na cidade e em Vitória - ES, a porcentagem foi equivalente a 85% do total consumido (RODRIGUES, 2005). Analisando esses dados percebe-se que medidas para economia de água em residências podem atingir grandes porcentagens de redução no consumo total de uma cidade.

Dentre as medidas que podem ser utilizadas para a racionalização do consumo em residências, pode-se destacar o aproveitamento seletivo de água. Tal processo consiste em direcionar águas potáveis apenas para a realização de atividades que necessitam indispensavelmente de seu uso, e aproveitar águas não potáveis para a realização de atividades que não demandam de grande qualidade, diminuindo assim a quantidade de água potável utilizada.

Segundo o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB,2006), o uso de águas não potáveis em uma residência corresponde em média, à cerca de 40% do total de água consumida. Desta maneira, a aplicação de um sistema de abastecimento de água duplo, sendo a primeira parte dele formada por águas potáveis e a outra parte utilizando fontes alternativas, leva a preservação da água através da diminuição do consumo de água potável. O reuso de águas servidas, aproveitamento de águas de chuva, utilização de águas subterrâneas e a dessalinização da água do mar estão entre as principais fontes alternativas que podem ser utilizadas para a formação de um sistema de aproveitamento seletivo.

Uma pesquisa realizada em residências de Brasília para aplicação do Sistema de Aproveitamento de Água da Chuva (SAAP) obteve bons resultados, prevendo uma economia de cerca de 41.000 L de água e redução de R\$ 562,74 nas contas de água por ano, obtendo um tempo de retorno para o investimento de 7,3 anos (DOS SANTOS, 2016). Recentemente, em Itajubá-MG, uma pesquisa semelhante feita pela Fundação de Ensino e Pesquisa de Itajubá, a

FEPI, mostrou a viabilidade desse tipo de sistema em residências com área de captação superiores a 140 m² (FEPI, 2016).

Segundo o PROSAB (2009), além da redução da água potável consumida, a utilização das águas pluviais diminui o volume de água nas galerias pluviais e a probabilidade de enchentes. O aproveitamento das águas de chuva também pode ser valioso do ponto de vista econômico, visto que a redução do consumo reduz as contas de água e o consumo de energia.

Coletar água de chuva não é apenas conservar a água, mas também energia, considerando o consumo necessário para a operação de uma estação de tratamento de água, o bombeamento e as operações correlatas de distribuição entre reservatórios. Estudos mostram que o custo energético tem se constituído num montante aproximado de 25% a 45% do custo total de operações de sistemas de abastecimento de água. Além disso, o aproveitamento da água da chuva reduz a erosão local e as enchentes causadas pela impermeabilização de áreas como coberturas, telhados e pátios, captando-a e armazenando-a. Desta maneira, a água de chuva que escoaria e poderia causar uma enchente, com todo o risco de contaminação dos corpos d'água, está disponível para diferentes usos (PROSAB, 2009).

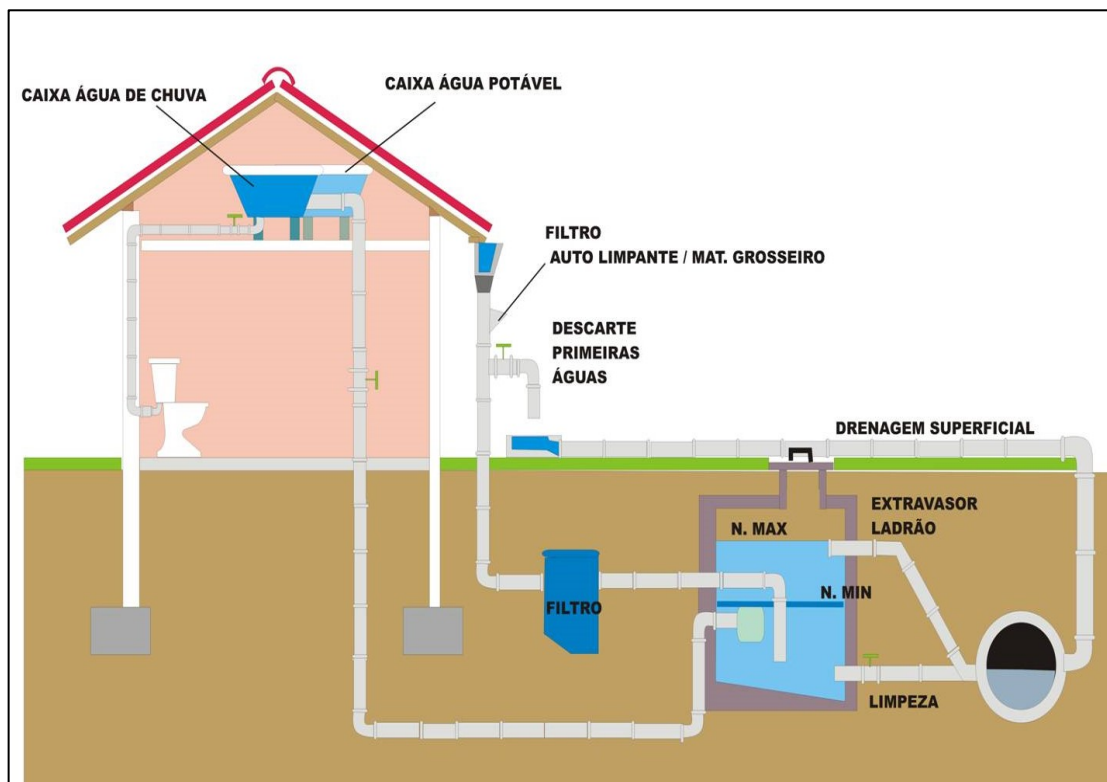
Os SAAP, apesar de muito conhecidos, ainda são pouco difundidos no Brasil quando comparado à alguns países desenvolvidos, devido principalmente a relativa abundância de recursos hídricos no Brasil, descaso e falta de incentivos por parte do governo. Em muitos países desenvolvidos existem políticas para facilitar a implantação desses sistemas por meio de incentivos fiscais, disseminando assim o uso dos mesmos. Na cidade de Austin no Texas, por exemplo, o governo fornece uma quantia de US\$ 500 para quem instalar um sistema de captação de água de chuva em sua residência (TOMAZ, 2011). No Japão, foi implantado um programa de coleta e aproveitamento de água de chuva em 16 cidades, onde os usuários recebem ajuda financeira para construir os sistemas (MAY, 2004).

No Brasil, os maiores investimentos foram realizados no Nordeste, onde o aproveitamento da água da chuva é utilizado como suprimento, considerando a baixa disponibilidade das bacias hidrográficas (MAY, 2004). Outras aplicações no Brasil têm sido feitas em locais com grande incidência de enchentes, para diminuir o volume de água que escoia para as galerias pluviais. Assim, a utilização dos SAAPs no Brasil não tem ocorrido de forma preventiva e aplicando o conceito de sustentabilidade, mas sim em casos de extrema necessidade ou como medida corretiva.

Por isso, fazem-se necessárias maiores análises sobre o assunto, visando a viabilidade de implantação do aproveitamento de chuva em diversas regiões, obtenção de parâmetros comparativos e criação de leis que abranjam todo o território nacional, normalizando e difundindo o uso desses sistemas.

Existem diversos tipos de SAAP, com diferentes complexidades e finalidades que podem variar conforme a característica da edificação e destinação de uso. Contudo, os sistemas mais comuns geralmente caracterizam-se pela captação da água a partir da cobertura da edificação, transporte por meio de calhas e condutores, dispositivo de autolimpeza para descarte da primeira chuva que tende a carregar as sujeiras presentes no telhado, filtro para remoção de sólidos, reservatório inferior, sistema de bombeamento e reservatório superior (TOMAZ, 2011). A Figura 1 mostra um exemplo de sistema de aproveitamento pluvial.

Figura 1. Sistema de aproveitamento de águas pluviais



Fonte: Maisumaengenharia, 2015.

A viabilidade desse tipo de sistema está aliada a diversos fatores, dentre eles a área de captação disponível na edificação, disponibilidade hídrica do local de aplicação, demanda de consumo para água não potável e a área disponível para implantação de instalações. Nesse âmbito se desenvolveu esta pesquisa.

1.2 Objetivos gerais

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso é analisar se há viabilidade econômica para a implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial na cidade de Uberlândia-MG. O estudo pretende então verificar o potencial de economia de água quantitativamente e economicamente, fazendo as devidas considerações necessárias e análise dos resultados. O trabalho não visa uma avaliação de aspectos qualitativos da água.

1.2.1 Objetivos específicos

Para concluir o objetivo principal foram traçados outros objetivos precedentes. São eles: averiguar se o regime de precipitações do município em questão atende as demandas necessárias para implantação do sistema; dimensionar os componentes do sistema; dimensionar e fazer a análise do reservatório, fazendo comparações entre os métodos adotados; orçar o investimento; calcular o Valor Presente Líquido do investimento; calcular o tempo de retorno do investimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Normas e leis para o aproveitamento de água da chuva no Brasil

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 15527:2007 é a única norma referente ao assunto, regularizando os requisitos para o aproveitamento de águas pluviais provenientes de coberturas, que deve ser direcionado para usos não potáveis após tratamento adequado. Dentre as atividades que podem fazer uso de águas pluviais estão as descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios e usos industriais. Esta norma aborda aspectos referentes a captação, limpeza e armazenamento das águas pluviais, e apresenta diferentes métodos para o dimensionamento de reservatórios.

Com relação a legislação, a primeira idealização de preservação e racionalização do uso da água veio com a publicação da **Lei 9.433/1997**, a Lei das águas, criada pela Agência Nacional das Águas (ANA), (BRASIL,1997). Na época, os objetivos desta lei eram assegurar a disponibilidade e qualidade da água para gerações futuras, promover a utilização racional dos recursos hídricos e fazer a prevenção e defesa contra eventos hidrológicos, sejam eles de origem natural ou causadas por ações humanas. A partir desta lei, foi implementado o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRD), que tem o objetivo de definir diretrizes e políticas públicas para

melhorar a oferta de água sob aspectos quantitativos e qualitativos. Recentemente foi publicada a **Lei nº 13.501/2017**, que acrescentou mais um objetivo a Lei das Águas: Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais (BRASIL, 2017).

Contudo, apesar de aumentarem as preocupações com os recursos hídricos e o incentivo ao aproveitamento pluvial, o Brasil ainda carece de legislações federais mais específicas, que regulamentem as práticas de aproveitamento e definam situações de obrigatoriedade.

Em algumas cidades do país, já existem decretos que impõem situações onde o aproveitamento pluvial é obrigatório. Em São Paulo por exemplo, foi sancionada a **Lei nº 12.526/2007**, que tornou obrigatória a implantação de sistemas de captação de águas pluviais em terrenos que tenham área impermeabilizada superior a 500 m², sejam estes terrenos edificadas ou não. Esta lei tem o objetivo principal de diminuir o escoamento superficial das águas para bacias urbanas, diminuindo consequentemente as vazões de cheias e os riscos de enchentes. A lei define ainda um método específico para o dimensionamento dos reservatórios (SÃO PAULO, 2007).

Em Curitiba, a **Lei nº 10.175/03** determina que em edificações com mais de 250 m², conjuntos habitacionais ou construções unifamiliares em série, é obrigatória a captação e o aproveitamento de águas pluviais (CURITIBA, 2003).

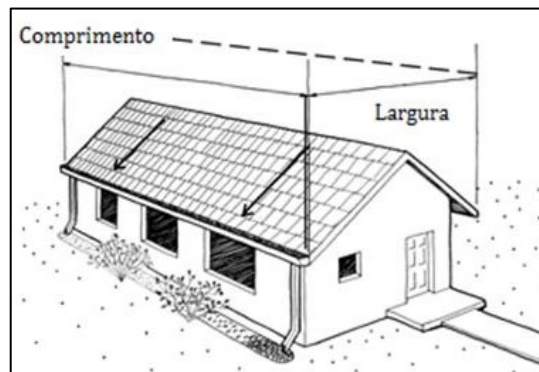
2.2 Componentes do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais

2.2.1 Área de Captação

Segundo Lopes (2012), a área de captação é um dos principais componentes de um sistema de aproveitamento pluvial, pois a mesma influencia na quantidade de água que pode ser captada. Além disso, é o primeiro elemento com o qual a chuva entrará em contato, estando assim sujeita a maiores contaminações por poluentes atmosféricos, folhas, galhos, fezes de pequenos animais dentre outros poluentes.

A captação pode ser feita de lajes e pisos pavimentados, e coberturas das edificações, sendo a última a opção geralmente utilizada devido a maior facilidade de captação e a maior qualidade da água obtida (MARINOSKI et al. 2004). A captação de água das coberturas está representada na Figura 2, indicada por setas.

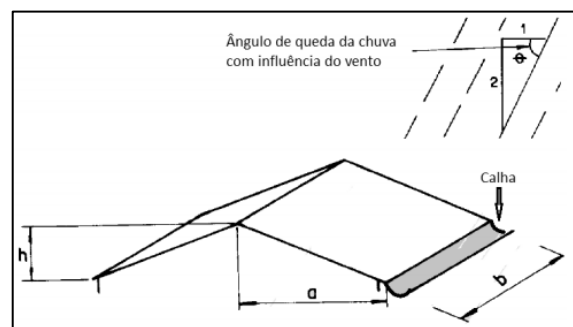
Figura 2. Área de captação de cobertura



Fonte: Waterfall (2002) apud Simone May (2004).

De acordo com a ABNT NBR 10844:1989, que diz respeito a instalações prediais de águas pluviais, a área de captação que contribui para o cálculo da quantidade de água obtida é formada pela soma das áreas superficiais que ao interceptarem chuvas, conduzem as águas para determinado ponto da instalação. O cálculo da área de contribuição efetiva para a captação deve considerar incrementos devidos às inclinações da cobertura e às paredes que interceptem águas de chuva que também sejam drenadas pela cobertura. A norma considera ainda uma inclinação da chuva devido a ação dos ventos igual a $\arctg^2\theta$ (Figura 3), na direção que proporcionarem a maior captação de chuva.

Figura 3 Ângulo de inclinação da chuva



Fonte: Adaptado de ANBT:NBR 10844, 1989.

As coberturas podem utilizar diversos materiais, dentre eles estão as telhas cerâmicas, de fibrocimento, de vidro, acrílico ou laje de concreto impermeabilizada. O tipo de superfície utilizada no telhado interfere na eficiência da captação devido à absorção de água dos materiais utilizados. Por isso deve-se dar preferência para materiais com menor absorção de água, pois estes têm melhor aproveitamento (PROSAB, 2006). Devido à isso, há perdas no volume precipitado aproveitável e para efeito de cálculo os valores são corrigidos utilizando o coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de runoff, representado pela letra C e que

é definido como o quociente entre a água que escoar superficialmente e o total precipitado. Assim cada material tem um coeficiente de escoamento, os mesmos estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de runoff

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	0,9 a 0,95

Fonte: Adaptado de Tomaz, 2011.

2.2.2 Calhas e condutores

As calhas, segundo a ABNT NBR 10844:1989, são condutos livres que recolhem águas provenientes das coberturas e as destinam a um local pré-definido. As calhas podem ter diversos materiais e são dimensionadas a partir da equação de Manning para condutos livres, equação 1.

$$Q = K \frac{S}{n} Rh^{2/3} i^{1/2} \quad (1)$$

Na qual: Q é a vazão de projeto, em L/min; K é um coeficiente de valor 60.000, adimensional; S é a área da seção molhada, em m²; n é o coeficiente de rugosidade (Tabela 2); Rh é o raio hidráulico, em m; i é a inclinação da calha, em m/m.

Tabela 2 Coeficientes de rugosidade (n)

Material	N
plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não alisado	0,013
alvenaria de tijolos não revestida	0,015

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10844, 1989.

As calhas são dimensionadas a partir da Tabela 3 para alguns valores de declividade, assumindo calhas semicirculares com n igual a 0,011.

Os condutores são responsáveis por levar a água das calhas até o reservatório inferior, passando pelos dispositivos de tratamento necessários. Podem ser compostos por diversos materiais, mas geralmente são de PVC. A Figura 4 mostra um conjunto com calha e conduto vertical. Os condutos são dimensionados de acordo com a ABNT NBR 10844:1989, a partir do ábaco

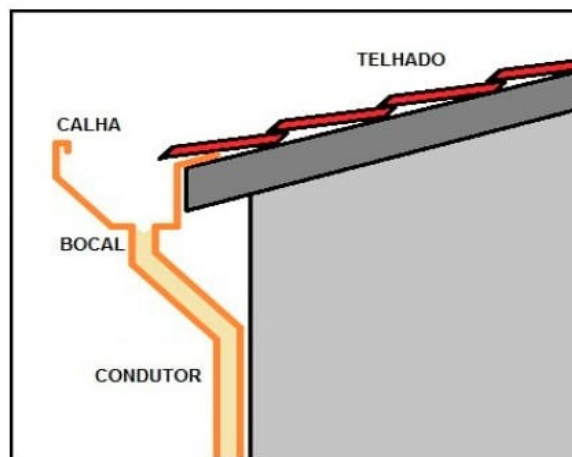
representado na Figura 5, encontrando-se o diâmetro (H) a partir da vazão de projeto (Q) e do comprimento do condutor (L).

Tabela 3. Capacidade de calhas semicirculares (L/min) com coeficiente de rugosidade $n = 0,011$

Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	0,50%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1167	1634

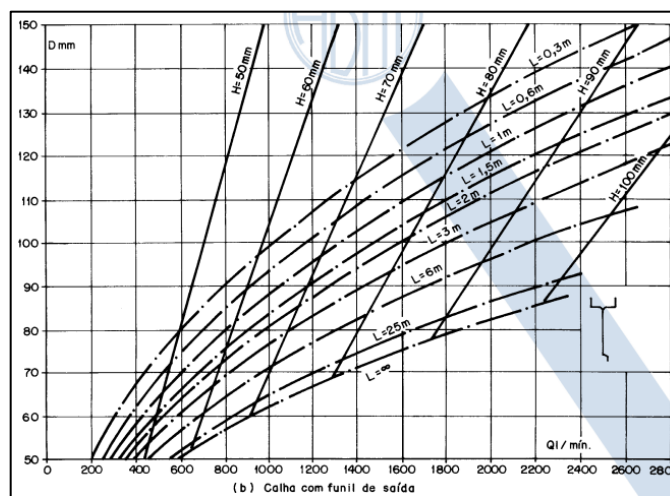
Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10844,1989.

Figura 4. Calha e condutor vertical



Fonte: Engormix, 2013.

Figura 5. Ábaco para dimensionamento de condutores verticais



Fonte: ABNT NBR 10844,1989.

Os condutores horizontais também são dimensionados como condutos livres, considerando uma seção com lâmina de água com altura de 2/3 do diâmetro da tubulação. Os mesmos podem ser dimensionados a partir da Figura 6, adotando-se um valor de seção que suporte a capacidade de vazão.

Figura 6. Dimensionamento de condutos horizontais

	Diâmetro interno (D) (mm)	$n = 0,011$				$n = 0,012$				$n = 0,013$			
		0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
2	75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
3	100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
4	125	370	521	735	1.040	339	478	674	956	313	441	622	882
5	150	602	847	1.190	1.690	552	777	1.100	1.550	509	717	1.010	1.430
6	200	1.300	1.820	2.570	3.650	1.190	1.670	2.360	3.350	1.100	1.540	2.180	3.040
7	250	2.350	3.310	4.660	6.620	2.150	3.030	4.280	6.070	1.990	2.800	3.950	5.600
8	300	3.820	5.380	7.590	10.800	3.500	4.930	6.960	9.870	3.230	4.550	6.420	9.110

Nota: As vazões foram calculadas utilizando-se a fórmula de Manning-Strickler, com a altura de lâmina de água igual a 2-3 D.

Fonte: ABNT NBR 10844,1989.

2.2.3 Removedores de sólidos

É importante fazer a remoção dos sólidos aos quais o sistema está sujeito, com o intuito de melhorar a qualidade da água, excluindo-se a presença de folhas, fezes de pequenos animais e outras demais grandes partículas que podem prejudicar o funcionamento do sistema e causar uma maior necessidade de manutenção. Para isso, pode ser utilizado um filtro simples ligado aos condutores verticais (Figura 7), eliminando os sólidos mais grosseiros.

Os condutores são responsáveis por levar a água das calhas até o reservatório inferior, passando pelos dispositivos de tratamento necessários. Podem ser compostos por diversos materiais, mas geralmente são de PVC. A Figura 4 mostra um conjunto com calha e conduto vertical. Os condutos são dimensionados de acordo com a ABNT NBR 10844:1989, a partir do ábaco representado na Figura 5, encontrando-se o diâmetro (H) a partir da vazão de projeto (Q) e do comprimento do condutor (L).

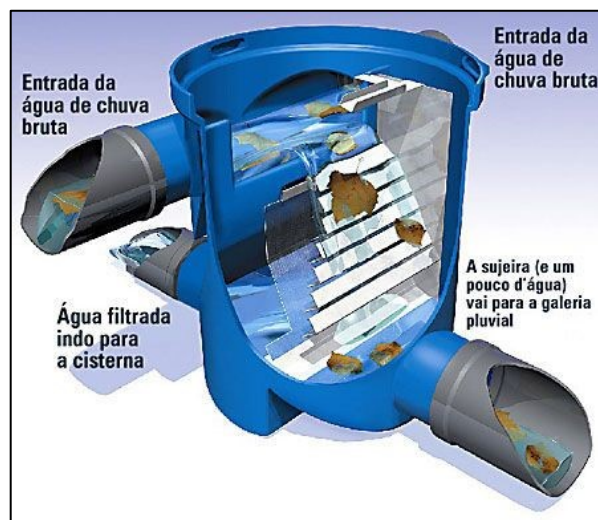
Figura 7. Filtro simples para remoção de sólidos



Fonte: SempreSustentável, 2014.

Segundo Lopes (2011), existe ainda um dispositivo que contém ripas paralelas em seu interior que não permitem a passagem da chuva inicial devida a presença de sólidos grosseiros, de forma que a mesma seja descartada. Após este descarte inicial o montante restante da chuva é desviado para o reservatório. É importante ressaltar que o dispositivo não impede a passagem de partículas indesejáveis dissolvidas na água. O dispositivo é o filtro aquasave 3P technik mostrado na Figura 8, que é mais eficiente e exige menores manutenções, porém é um dispositivo que ainda tem um preço elevado no mercado.

Figura 8. Dispositivo autolimpante Aquasave (3P technik)



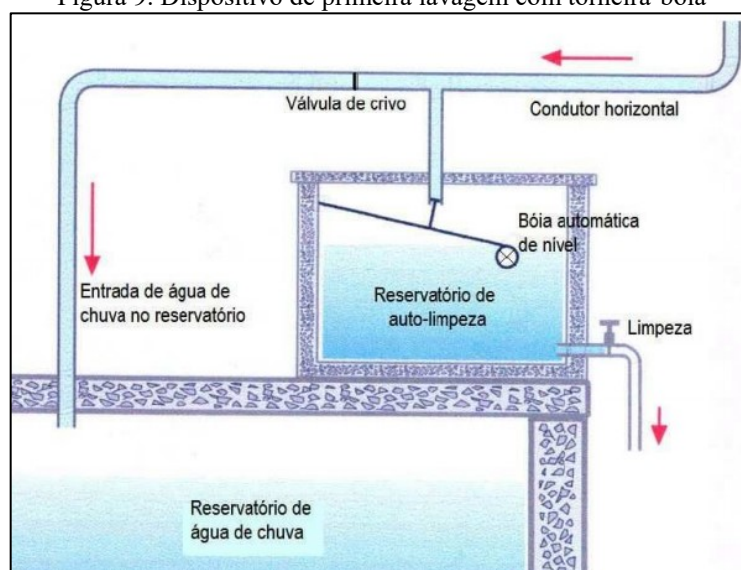
Fonte: Aquesol, 2018.

2.2.4 Dispositivos para descarte de primeira chuva

Segundo Tomaz (2011), os telhados estão sujeitos a contaminação por dejetos de animais, poeiras, folhas de árvores, revestimento do telhado, tintas entre outros poluentes. Tais contaminantes podem trazer microrganismos nocivos à saúde e por isso é necessário fazer o descarte dos primeiros milímetros de chuva, que tem a função de fazer a lavagem do telhado. Este descarte é feito por um dispositivo de autolimpeza, também chamado de reservatório de descarte. O mesmo pode ter diferentes mecanismos, sendo eles automáticos ou manuais.

Dacach (1990), estudou um método para descarte de primeira chuva que utilizava um reservatório com torneira-boia (Figura 9). Segundo ele, esse reservatório é localizado acima do reservatório inferior e é ligado aos condutores verticais, de modo que recebe volumes de água gradativos, até atingir determinado nível, que implica no fechamento imediato da torneira-boia e transferência da água para o reservatório inferior. Após a chuva, o registro inferior do reservatório deve ser aberto para esvaziamento voltando assim para as condições de funcionamento (DACACH, 1990).

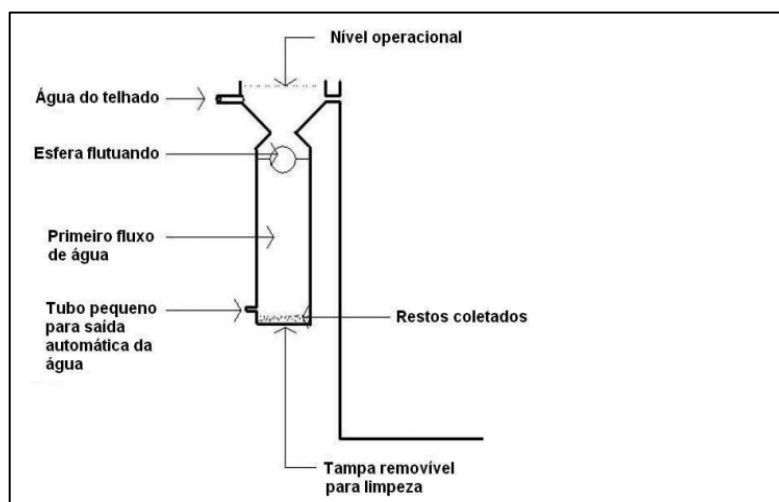
Figura 9. Dispositivo de primeira lavagem com torneira-boia



Fonte: Dacach, 1990.

Existe outro dispositivo com boia que é ligado diretamente à calha (Figura 10). Esse dispositivo funciona de maneira igual ao anterior, quando o reservatório atinge determinado nível a boia fecha a entrada de água, desviando-a para a tubulação que conduz para o reservatório inferior (Tomaz, 2011 *apud* Lopes, 2012).

Figura 10. Dispositivo de autolimpeza ligado a calha



Fonte: Tomaz (2011) *apud* Lopes, 2012.

2.2.5 Reservatórios

O sistema geralmente conta com um reservatório inferior enterrado ou apoiado no solo e que alimenta o reservatório superior por meio de um sistema de bombeamento. O reservatório superior por sua vez distribui a água até os pontos de utilização. Segundo Tomaz (2011), os reservatórios podem ser basicamente de concreto armado, plásticos, fibrocimento, aço ou de alvenaria armada.

Segundo Tomaz (2011), os reservatórios podem ser basicamente de concreto armado, plásticos, fibrocimento, aço ou de alvenaria armada.

Segundo o PROSAB (2006), um dimensionamento bem feito dos reservatórios implica diretamente na eficiência do sistema e no custo de implantação do mesmo, já que os reservatórios constituem uma grande parcela do orçamento total de um SAAP e seu mal dimensionamento pode implicar na inviabilidade do sistema.

Ainda segundo este programa de pesquisa, vários fatores interferem na capacidade de armazenamento de um reservatório e conseqüente eficiência do sistema. Assim, quanto maior a área de captação, maior a capacidade de coleta. Também é importante avaliar o índice pluviométrico da região observando assim a frequência, quantidade e distribuição das chuvas, e quanto mais regular este índice for, maior será a confiabilidade do sistema. Outro fator importante a se observar é a demanda de água potável necessária.

Existem diferentes métodos para o dimensionamento de um reservatório e estes levam em conta pontos de vista diferentes e diferentes finalidades. Deve-se então calcular o volume do reservatório pelo método que culmine em uma maior eficiência do sistema, com uma

combinação ótima entre a demanda a ser atendida e o volume reservado. A ABNT NBR 15527:2007 apresenta 6 métodos para o dimensionamento dos reservatórios e 5 deles estão descritos a seguir.

2.2.5.1 Método de Rippl

O Método de Rippl é o método mais utilizado em aproveitamento de águas pluviais devido ao fato de ser simples e de fácil aplicação (PROSAB, 2006). O Método de Rippl considera as demandas mensais e as precipitações série histórica, obtendo um volume a partir das equações 3, 4 e 5, retiradas da ABNT NBR 15527:2007.

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (3)$$

$$Q(t) = C.P(t).A(t) \quad (4)$$

$$V = \sum(S(t)), \text{ para } S(t) > 0 \quad (5)$$

Considera-se que $\sum D(t) < \sum Q(t)$

Nas quais: $S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t , em m^3 ; $Q(t)$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t , em m^3 ; $D(t)$ é a demanda ou consumo no tempo t , em m^3 ; V é o volume do reservatório, em m^3 ; C é o coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente de runoff; $A(t)$ é a área de captação; $P(t)$ é a precipitação em função do tempo.

2.2.5.2 Método da Iteração

Este método utiliza um volume fixo para o reservatório, e considera a continuidade do volume restante no reservatório em cada mês. Para início dos cálculos é considerado que o reservatório está em sua capacidade máxima. O dimensionamento do reservatório é feito a partir da equação 6.

$$S(t) = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (6)$$

Na qual: $S(t)$ é o volume do reservatório no tempo t , em m^3 ; $S(t-1)$ é o volume do reservatório no tempo $t - 1$, em m^3 ; $Q(t)$ é o volume de chuva no tempo t , em m^3 , calculado conforme a equação 4 vista anteriormente no Método de Rippl. Para este modelo considera-se que $0 \leq S(t) \leq V$.

2.2.5.3 Método de Azevedo Neto

É um método que define o volume do reservatório considerando uma precipitação média anual, através da equação 7.

$$V = 0,042.P.A.T \quad (7)$$

Na qual: P é a precipitação média anual, em mm; T é o número de meses de pouca chuva ou seca; A é a área de coleta em projeção, em m²; V é o volume de água aproveitável.

2.2.5.4 Método Prático Alemão

É um método que considera o menor valor entre 6% do volume anual de consumo e 6% do volume anual de precipitação aproveitável, conforme a equação 8.

$$V_{adotado} = \text{mín}(V; D). 0,06 \quad (8)$$

Na qual: V é o volume anual de água aproveitável em L; D é o valor da demanda anual em L; V_{adotado} é o volume do reservatório em L.

2.2.5.5 Método Prático Inglês

Neste método o volume de água no reservatório é obtido a partir da equação 9.

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

Na qual: V é o volume do reservatório em L; P é a precipitação média anual em mm; A é a área de coleta em projeção, em m².

2.2.5.6 Eficiência do sistema

Segundo Tomaz (2011), a eficiência do sistema corresponde a porcentagem de chuva que é aproveitada para suprir a demanda de água não potável, podendo ser obtida com a equação 10.

$$\text{Eficiência (\%)} = 100. \frac{\text{Vol anual de chuva utilizada}}{\text{Vol anual de chuva}} \quad (10)$$

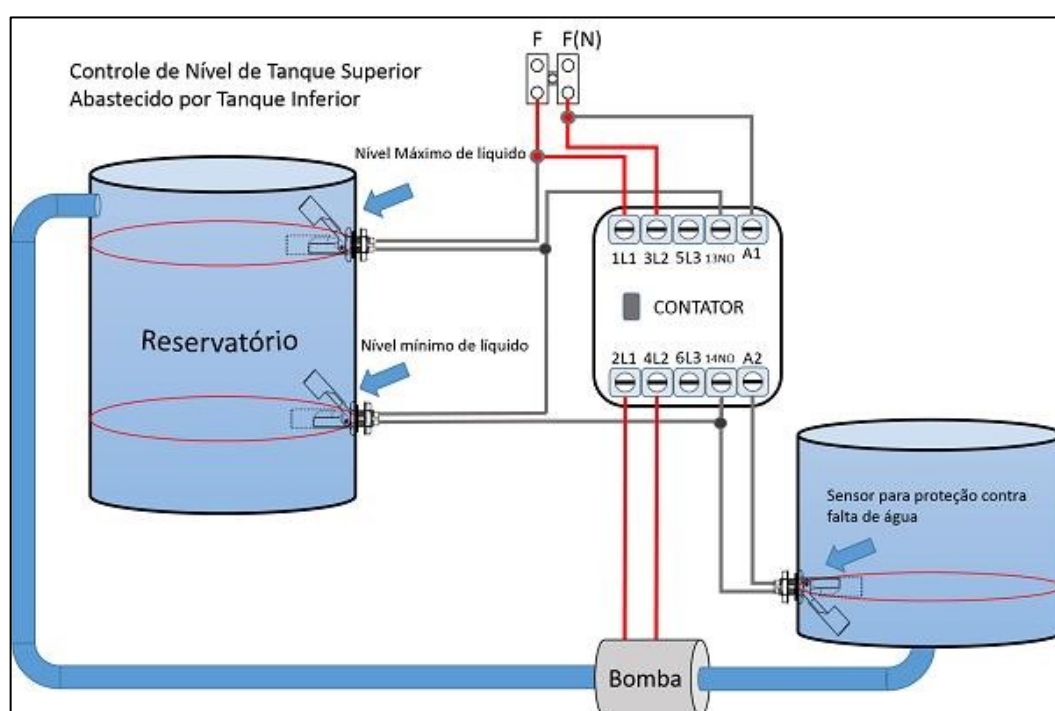
2.2.6 Sistema de bombeamento

Quando o SAAP tem reservatórios inferior e superior é necessária a instalação de uma estação elevatória para enviar a água para o reservatório superior. A estação contém uma bomba

hidráulica que deve ser capaz de vencer as diferenças de pressões devido à altura geométrica entre os reservatórios e as perdas de carga das tubulações.

O funcionamento da bomba pode ser ativado por meio de sensores de nível, como mostrado na Figura 11. A bomba é ligada quando o reservatório superior atinge seu nível mínimo, e desligada sobre duas circunstâncias: Quando o reservatório superior atinge o seu nível máximo, ou quando o reservatório inferior atinge o seu nível mínimo, para que não haja danificação da bomba pela entrada de ar.

Figura 11. Esquema de ligação de sensores para acionamento de bomba



Fonte: Mundo da elétrica, 2018.

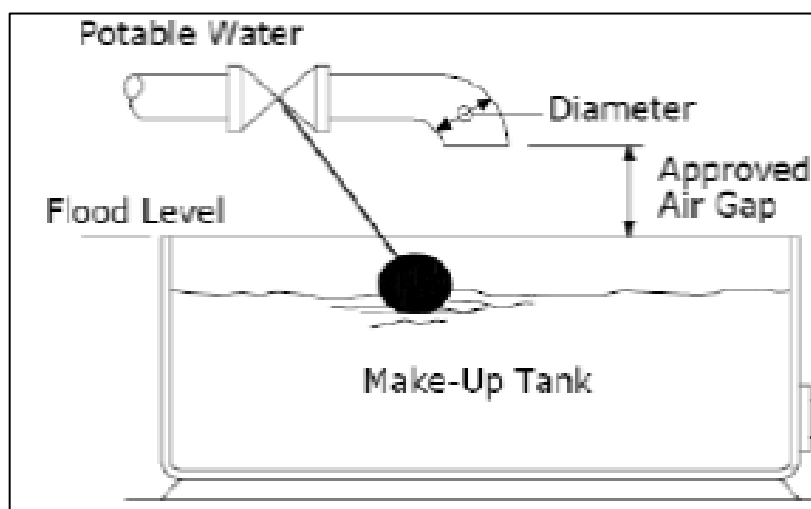
2.2.7 Sistema de realimentação com água potável

Em situações em que as quantidades de água da chuva não são suficientes para suprir a demanda, deve haver o acionamento de um sistema de realimentação com água potável.

De acordo com a ABNT NBR 15427:2007 os sistemas de distribuição de água potável e de água pluvial devem ser independentes, de forma que não existam conexões cruzadas. Também chamadas de “*Cross-connection*”, as conexões cruzadas são pontos de contato entre águas não potáveis com água potável da rede. As mesmas são pontos de possível contaminação da rede de distribuição e por isso devem ser evitadas (Tomaz, 2011).

Para a realização da realimentação com água potável pode ser utilizado então o sistema “*Air Gap*” (Figura 12), que consiste na separação atmosférica entre as tubulações de água potável e não potável. O sistema funciona da seguinte maneira: Quando o reservatório superior atinge o nível mínimo e não há água para ser bombeada do reservatório inferior, abre-se uma válvula que realimenta o sistema com água potável até que seja atingido um volume de 50% da capacidade do reservatório superior, dando assim uma folga ao sistema.

Figura 12. Air gap utilizado em realimentação



Fonte: EPA, 2003.

2.3 Demanda de água não potável

É de extrema importância para o dimensionamento dos reservatórios a estimativa da demanda de água não-potável a ser consumida. Quanto mais eficiente for essa estimativa, melhor aproveitado o sistema será, diminuindo assim as ocorrências de deficiências no sistema ou volumes excedentes de água armazenada. As demandas podem ser aproximadas de acordo com a residência, com base nos valores de consumo apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Consumo de água para atividades domiciliares

Vaso sanitário	6 L/descarga
	5 Descarga/hab/dia
Rega de jardim	3 L/m ² /dia
	10 utilizações/ mês
Lavagem de área impermeabilizada	4,0 L/m ² /dia
	8 utilizações/ mês
Lavagem de carro	80-150 L /lavagem/carro
	1-4 lavagem/mês

Fonte: PROSAB,2006.

2.6 Viabilidade econômica

Segundo o PROSAB (2006), a análise da viabilidade econômica tem o objetivo de determinar o tempo de retorno de um determinado investimento, verificando assim a possibilidade de lucratividade do projeto em um intervalo de tempo estipulado.

Segundo Bauermann (2014), os dois critérios básicos que podem indicar a melhor escolha para um investimento são: as mudanças de valor do dinheiro no tempo e o custo de oportunidade. Considerando esses dois fatores e as receitas prováveis de determinada situação, pode-se então analisar o investimento por meio do fluxo de caixa e indicadores de viabilidade.

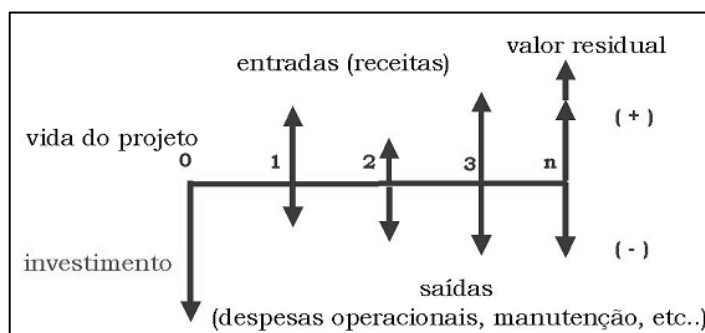
É importante considerar as mudanças de valor do dinheiro no tempo para se analisar os investimentos, visto que uma quantia monetária recebida no presente não tem um valor equivalente a uma mesma quantia se recebida no futuro. Segundo Balarine (2004), existe uma remuneração à ser recebida no futuro devido a privação da utilização do dinheiro no presente. Assim, quando uma aplicação financeira é feita, agrega-se uma remuneração em forma de juros, recebida como prêmio pela privação do uso do capital no presente. Além disso, existem outros fatores que interferem na valorização do dinheiro, como por exemplo a inflação e as altas no preço de produtos, fatores que fazem com que o poder de compra do dinheiro seja cada vez menor (BAUERMANN, 2014).

O custo de oportunidade é por definição uma opção de remuneração alternativa ao investimento em análise (BALARINE *apud* BAUERMANN, 2014). Assim, por exemplo, pode-se aplicar uma quantia monetária em poupança para retirada no futuro, ao invés de aplicar essa mesma quantia em um determinado investimento.

2.6.1 Fluxo de caixa

O fluxo de caixa é a representação gráfica de um conjunto de saídas e entradas de capital ao longo de determinado tempo. A Figura 13 mostra um exemplo de fluxo de caixa. Nesta representação, os vetores positivos representam recebimentos e os negativos representam despesas e investimentos realizados.

Figura 13. Fluxo de caixa



Fonte: Economia.Culturamix, 2010.

2.6.2 Valor Presente Líquido

Basicamente, o Valor Presente Líquido (VPL) é a diferença entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos. Segundo Puccini (2011), a análise do VPL consiste em transportar todas as quantias monetárias futuras existentes no fluxo de caixa para valores equivalentes no presente, e depois compará-las.

Para fazer o transporte e equivalência dos valores de um fluxo de caixa, multiplicam-se esses valores pelo Fator de Valor Atual (FVA), mostrado na equação 13.

$$FVA = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (13)$$

Na qual: i é a taxa de desconto que constitui os custos de capital de um investimento, em %; n é valor numérico que representa o período de tempo. Quando o valor do VPL é positivo o projeto é viável segundo este indicador.

O VPL pode ser definido a partir da equação 14.

$$VPL = \left[\sum_{j=1}^n \left(\frac{B_j}{(1+i)^j} \right) - \sum_{j=1}^n \left(\frac{C_j}{(1+i)^j} \right) \right] \quad (14)$$

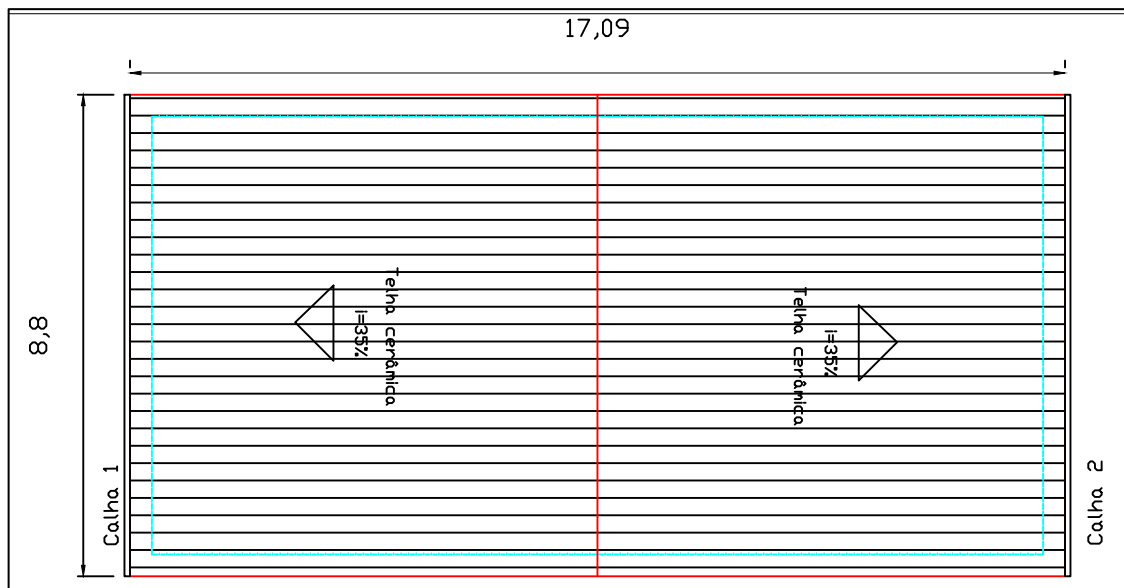
Na qual: B_j é o valor dos benefícios no tempo j ; C_j é o valor dos custos no tempo j .

3 METODOLOGIA

3.1 Objeto de estudo

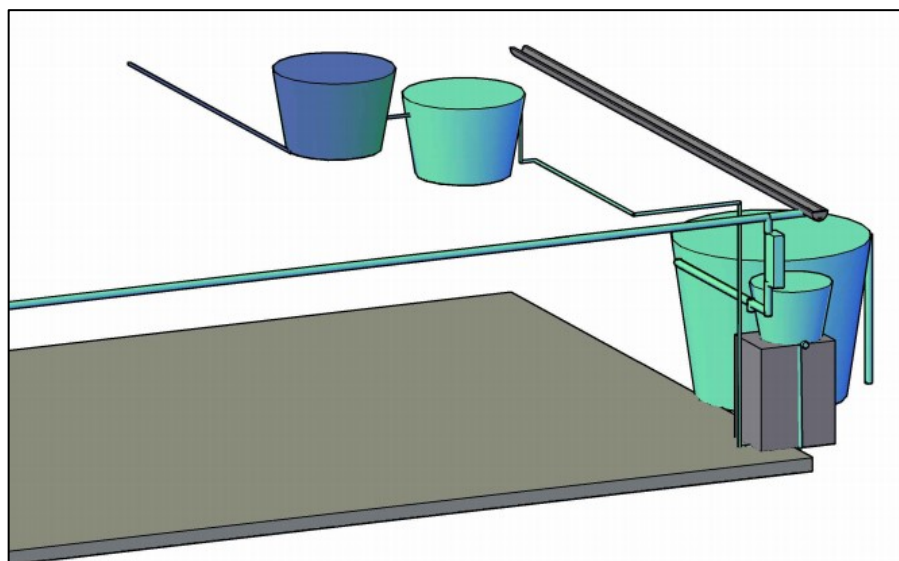
O estudo de viabilidade do SAAP foi realizado na cidade de Uberlândia-MG, em uma residência de padrão médio em fase de projeto, cuja planta de cobertura está representada na Figura 14, a disposição do sistema na Figura 15 e os dados estão apresentados na Tabela 5.

Figura 14. Planta de cobertura da edificação em estudo



Fonte: Autor, 2018.

Figura 15. Disposição do sistema de aproveitamento utilizado



Fonte: Autor, 2018.

Tabela 5. Dados da edificação

Área do terreno (m ²)	250
Área de cobertura (m ²)	150,4
Área impermeabilizada(m ²)	180
Jardins (m ²)	30
Nº de pessoas	5
Demanda de água potável (L/hab/dia)	250

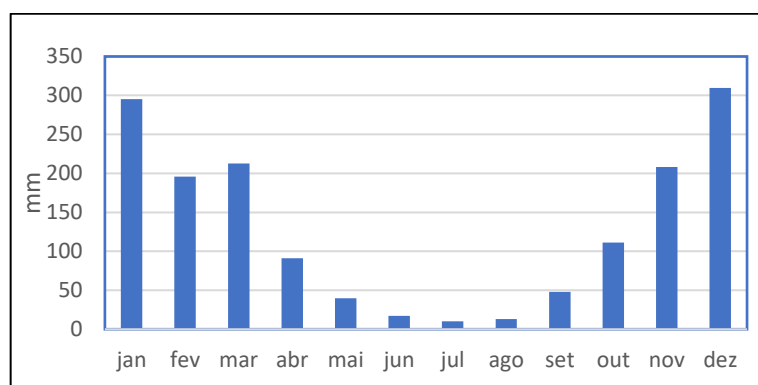
Fonte: Autor, 2018.

3.2 Disponibilidade hídrica

A determinação do potencial de aproveitamento de água da chuva para a edificação foi realizada a partir de uma série histórica de precipitações (Figura 16), fornecida pelo Instituto Nacional de Meteorologia, o INMET, referente a estação meteorológica de Uberlândia, A-507, do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Com base nos dados de precipitação da cidade, pode-se estimar os volumes de chuvas prováveis para serem aproveitados e as suas distribuições ao longo do ano. Comparando tais valores com as prováveis demandas mensais na residência, verifica-se o potencial de aproveitamento da chuva em cada um dos meses do ano.

Fazendo a análise da distribuição das chuvas percebe-se que o regime de precipitação varia muito ao longo do ano, com os maiores volumes de chuva obtidos entre os meses de outubro e março, totalizando cerca de 85 % do total precipitado. Nos demais meses há um período de seca, no qual o funcionamento do sistema de aproveitamento pluvial é mais crítico, visto que há uma baixa disponibilidade de chuvas. Como consequência, para conseguir suprir toda a demanda o reservatório deve ter volume suficiente para armazenar o precipitado dos meses chuvosos, suprimindo as demandas dos meses de seca.

Figura 16. Alturas pluviométricas mensais médias [1985-2015]



Fonte: Adaptado de INMET, 2018.

3.3 Demandas não-potáveis

As demandas não-potáveis para a residência foram estimadas considerando a utilização em descargas sanitárias, rega de jardins, lavagem de áreas impermeabilizadas e lavagem de carros. Para tanto, foram utilizados dados de consumo fornecidos pelo PROSAB (2006), multiplicando-se a quantidade de água em cada utilização, pela quantidade de utilizações no mês, como mostrado na Tabela 6. O sistema foi analisado para 3 possibilidades de demanda: A, B e C, descritas na Tabela 7.

Para o caso A, pode-se haver uma substituição de até 12 % do volume total de água potável por água da chuva e para os casos B e C, podem-se substituir 15 % e 30 % da demanda potável respectivamente.

Tabela 6. Demandas mensais por utilização

Utilização	Volume (L)/descarga	utilizações/mês	Habitantes	TOTAL (L)
Vaso sanitário	6	150	5	4.500
Utilização	Volume (L/m ² /dia)	Utilizações/mês	Área (m ²)	TOTAL (L)
Rega de jardim	3	10	30	900
Utilização	Volume(L/carro/Lavagem)	Utilizações/mês	Carros	TOTAL (L)
Lavagem de carro	100	2	2	400
Utilização	Volume (L/m ² /dia)	Utilizações/mês	Área (m ²)	TOTAL (L)
Lavagem e piso	4	8	180	5.760

Fonte: Autor, 2017.

Tabela 7. Demandas não-potáveis para análise

Demandas	Utilizações	Volume(L)
Caso A	Vaso sanitário	4.500
Caso B	Vaso sanitário + rega de jardim+ lavagem de carros	5.800
Caso C	Vaso sanitário + rega de jardim + lavagem de carros + lavagem de piso	11.560

Fonte: Autor, 2018.

3.4 Dimensionamento de componentes do sistema

O sistema foi dimensionado conforme as normas ABNT NBR 10844:1989, ABNT NBR 5626:1998 e ABNT 15527:2007, respectivamente referentes a instalações prediais de águas

pluviais, instalações prediais de água fria, e aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não-potáveis.

3.5 Dimensionamento dos reservatórios pelos métodos da ABNT 15527:2007

O dimensionamento dos reservatórios foi feito primeiramente a partir de métodos sugeridos pela ABNT NBR 15527:2007. Foram analisados os métodos de Rippl, método da simulação, Método de Azevedo Neto, Método Prático Alemão e Método Prático Inglês para cada uma das demandas. Para efeito de cálculo foi considerado um aproveitamento de 80% do volume precipitado sobre o telhado, devido às perdas por evaporação, absorção, vazamentos, dentre outras, ocorridas em telhados cerâmicos.

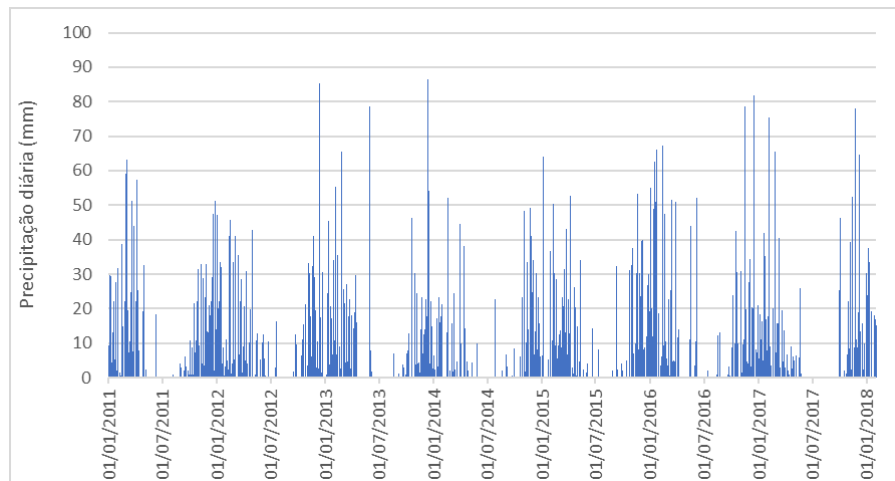
3.6 Dimensionamento dos reservatórios pelo programa Netuno

O dimensionamento dos reservatórios também foi feito utilizando o programa Netuno, com o objetivo de comparar os resultados por ele obtidos com os referentes aos dos métodos da norma ABNT NBR 15527:2007. O Netuno é um programa para a simulação de sistemas de captação pluvial desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina, a UFSC. O mesmo fornece resultados interessantes para análise, como relações entre o volume do reservatório e os potenciais de aproveitamento de água, atendimento de água pluvial e volume extravasado no reservatório (GHISI; CORDOVA, 2014).

Segundo Salla et al. (2013), o método se mostra uma eficiente ferramenta de suporte à decisão, tendo fácil acesso e manuseio. Ainda segundo os autores, em um estudo realizado no bloco de salas 50-A da Universidade Federal de Uberlândia para aplicação de um sistema de aproveitamento de água, o método Netuno forneceu volumes menores quando comparado aos métodos da ABNT NBR 15527:2007, com potenciais de aproveitamento pluvial entre 18 e 53%.

A análise do reservatório a partir do programa Netuno iniciou-se com a obtenção dos dados precipitação diários dos últimos anos para a cidade de Uberlândia, fornecidos pelo INMET e organizados graficamente na Figura 17.

Figura 17. Precipitação diária em Uberlândia [Jan/2011-Jan/2018]



Fonte: Dados do INMET. Autor, 2018.

Tais dados de precipitação diários foram inseridos no programa como dados de entrada, juntamente com as demandas diárias, número de moradores, percentual da demanda potável desejável à ser substituído por água potável, descarte e coeficiente de escoamento superficial. Na Figura 18, está representado o exemplo de inserção de dados iniciais para a demanda A.

O programa fornece a opção de fixar um volume para o reservatório inferior, ou fazer simulações com volumes variáveis, podendo-se definir o limite máximo do reservatório e os intervalos de variação dos volumes. Para o trabalho em questão foram simulados volumes em intervalos de 250 L, utilizando-se um volume máximo de 10.000 L.

Figura 18. Netuno - Dados de entrada

Fonte: Netuno, 2018.

Segundo Ghisi e Cordova (2014), o programa permite ainda fazer a opção de uma instalação com reservatório inferior e superior, ou somente com reservatório inferior. No caso de instalação com reservatórios superior e inferior, pode-se optar pela utilização de um reservatório superior com capacidade volumétrica igual a demanda diária de água não-potável, ou ainda definir um valor para este, conforme a escolha do projetista. No projeto em questão, optou-se pela utilização de um reservatório superior de 1.000 L, com ocorrência de recalque quando o volume no mesmo é inferior a 50 % da capacidade total, como mostrado na Figura 19.

Figura 19. Netuno- Dados do reservatório superior

Fonte: Netuno, 2018.

Após a inserção destes dados de entrada, o programa oferece a opção “indicar o volume ideal para o reservatório inferior”, na qual o programa indica um volume mais adequado conforme uma relação entre o percentual de aproveitamento de água e o volume do reservatório. A escolha é feita com base na Equação 15, conforme Ghisi e Cordova (2014).

$$P_{pluv} = \frac{E_{pot}}{P_{subst}} \quad (15)$$

Na qual: P_{pluv} é o percentual de utilização de água pluvial, em %; E_{pot} é o potencial de economia de água potável com o aproveitamento pluvial, em %; P_{subst} é o percentual da demanda total de água potável a ser substituído por água da chuva.

Para a escolha do reservatório ideal, o usuário deve então inserir um valor que representa a diferença entre os potenciais de água potável por meio do reaproveitamento de água pluvial, de modo que o programa retorna o primeiro volume de reservatório que atendeu a este valor.

Após seguir os passos descritos anteriormente, fez-se então a simulação e o programa retornou gráficos de desempenho para diversas dimensões de reservatórios.

Conforme Ghisi e Cordova (2014), o algoritmo utilizado pelo software Netuno calcula diariamente os volumes de chuvas captados, os volumes consumidos e os volumes disponíveis nos reservatórios, determinando então o potencial de economia e o aproveitamento do sistema. O algoritmo inicia-se com o cálculo do volume de água captado, conforme a Equação 16.

$$V_{ac}^i = P_i \cdot A \cdot C \quad (16)$$

Na qual: V_{ac}^i é o volume de chuva captado no dia i , em L; P_i é a precipitação no dia i , em mm; A é a área e captação, em m^2 ; C é o coeficiente de aproveitamento pluvial, adimensional.

O volume de água disponível no reservatório no início do dia, ou seja, antes do consumo é dado conforme a equação 17.

$$V_{in}^i = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{in} \\ V_{fim}^{i-1} + V_{ac}^i \end{array} \right. \quad (17)$$

Na qual: V_{in}^i é o volume de água disponível no início do dia, em L; V_{in} é o volume do reservatório, em L; V_{fim}^{i-1} é o volume disponível no fim do dia anterior, em L, V_{ac}^i é o volume de chuva captado no dia i , em L.

Ainda segundo o algoritmo do Netuno, o volume de água da chuva consumido é dado pela equação 18.

$$V_c^i = \min \left\{ \begin{array}{l} D_{pluv}^i \\ V_{in}^i \end{array} \right. \quad (18)$$

Na qual: V_c^i é o volume de água pluvial consumida no dia i , em L; D_{pluv}^i é a demanda de água pluvial no dia i , em L; V_{in}^i é o volume no reservatório no início do dia i , em L.

O volume no reservatório no fim do dia é dado pela Equação 19.

$$V_{fim}^i = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{in}^i - V_c^i \\ V_{in} \end{array} \right. \quad (19)$$

Na qual: V_{fim}^i é o volume no reservatório no fim do dia i , em L; V_{in}^i é o volume no início do dia i , em L; V_c^i é o volume de água pluvial captado no dia i , em L; V_{in} é o volume do reservatório, em L.

O programa faz ainda as seguintes considerações: se o volume de água consumido no dia i for igual ao valor da demanda, então a demanda pluvial foi totalmente atendida. Se o volume de água consumido tiver um valor entre zero e a demanda, então a demanda foi parcialmente atendida. E por último, se o volume consumido no dia i for zero, então a demanda não foi atendida.

Por último, o Netuno determina o potencial de economia de água potável com a adoção do sistema de aproveitamento pluvial, através da Equação 20.

$$E_{pot} = 100 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{V_c^i}{D_{tot}^i} \quad (20)$$

Na qual: E_{pot} é o potencial de economia de água potável com utilização do sistema de captação, em %; V_c^i é o volume de água pluvial consumido no dia i , em L; D_{tot}^i é a demanda total no dia i , em L.

3.7 Orçamento

O levantamento de custos para o sistema foi feito com base no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPE), e quando os dados estiveram ausentes neste sistema, os custos foram estimados em pesquisas de mercado. Para o orçamento foram levados em conta os custos dos materiais e de mão-de-obra para instalação. O orçamento foi dividido em custos fixos e variáveis com a demanda. Os custos fixos representam os componentes do sistema que sofrem alterações pouco significativas com a alteração das demandas não potáveis. Os custos variáveis são representados pelos reservatórios escolhidos para cada uma das demandas (A, B e C), que tem variações significativas de preço, interferindo de forma mais acentuada na viabilidade do sistema. Assim o orçamento total para cada demanda foi dado como a soma dos custos fixos e do custo dos reservatórios.

3.8 Análise econômica

A análise econômica do sistema foi feita considerando uma vida útil de 20 anos. Para efeito de cálculo foram consideradas as prováveis valorizações de moeda no período de tempo analisado, ou seja, juros e inflação. Considerou-se uma taxa anual de desconto de 6,4 % para a realização do cálculo do VPL, referente ao mês de junho de 2018, com base na taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC), que é definida como a taxa média ajustada dos

financiamentos diários relativos a operações financeiras registradas do SELIC, segundo o Banco Central do Brasil (2018).

Os benefícios recebidos devido à economia de água foram calculados multiplicando as tarifas de água e esgoto para a cidade de Uberlândia (Tabela 8), fornecidas pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE).

Tabela 8. Estrutura tarifaria do DMAE, categoria residencial para Uberlândia-MG

Faixa de consumo	Tarifa mínima residencial
De 0 a 10 m ³	tarifa mínima residencial R\$ 16,53
De 11 a 20 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 1,27
De 21 a 30 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 1,45
De 31 a 40 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 2,00
De 41 a 50 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 3,45
Acima de 50 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 4,30

Fonte: Adaptado de DMAE, 2018.

De acordo com o Comitê Técnico de Regulação dos Serviços Municipais de Saneamento Básico (CRESAN), nos últimos anos os reajustes anuais nas tarifas de água foram de 8% em 2011 e 2012, 24 % em 2013, 5,56 % em 2014, 9,95 % em 2015, 11,28 % em 2016 e 6,58 % em 2017. Sendo assim, tem-se um reajuste anual de 10,48 % nas tarifas de água da concessionária. É importante salientar que este reajuste pode sofrer alterações devido aos diversos fatores, dentre eles os investimentos realizados pela concessionária, custos de energia elétrica e aumentos generalizados no preço de equipamentos e materiais.

Os gastos com energia elétrica devem ser considerados para a operação da bomba pressurizadora que compõe o sistema. Para avaliar estes gastos foi utilizada a tarifa atual de preço de energia elétrica para a cidade de Uberlândia, igual a R\$ 0,587/Kwh, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2018). A taxa de reajuste anual média nos últimos anos foi assim igual a 10,24 % conforme a Tabela 9, fornecida pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG,2018). Sendo assim nota-se que os reajustes nas tarifas de água e de energia elétrica têm sido maiores que as taxas de inflação.

No próximo item do presente relatório está descrita a utilização do software Netuno para a avaliação econômica e nesta percebe-se que o programa não leva em conta estas diferenças, considerando as taxas de reajuste iguais as taxas de inflação, o que nem sempre ocorre.

Foram ainda considerados na análise econômica uma taxa anual equivalente a 1 % do investimento inicial para a realização de limpeza e manutenção do sistema. Ao longo do tempo o valor de manutenção foi ajustado conforme uma taxa de inflação de 4 % ao ano, ou seja, 0,33% ao mês.

Tabela 9. Histórico de reajustes de tarifa de energia elétrica (2013-2018)

DATA	AJUSTE (%)
05/04/2013	3,06
07/04/2014	16,33
27/02/2015	28,80
07/04/2015	7,07
24/05/2016	3,78
23/05/2017	-10,56
22/05/2018	23,19
Ajuste médio (%)	10,24

Fonte: Dados da ANEEL *apud* CEMIG, 2018.

3.8.1. Netuno

Todos os cálculos referentes à análise econômica foram feitos utilizando o programa Netuno, que além de fornecer um algoritmo para o dimensionamento dos reservatórios, calcula os gastos com a implantação, manutenção e operação do sistema, e os benefícios obtidos com o aproveitamento pluvial, elaborando um fluxo de caixa que fornece ao usuário o VPL e o tempo de retorno do investimento.

Para a análise financeira, o Netuno dispõe de um botão chamado “análise econômica”. Quando o usuário utiliza esta função o programa solicita ao usuário os seguintes dados iniciais: taxas de inflação, em %/mês; tarifas de água, em R\$/m³; período de reajuste das tarifas de água e de energia elétrica, em meses; período de análise, em anos; taxa mínima de atratividade, em %/mês; mês de instalação do sistema; custos de implantação, operação e manutenção, em R\$.

Conforme a Figura 20, as tarifas de água são inseridas considerando suas respectivas variações com o aumento do consumo.

Para a análise dos custos de operação o programa tem a opção “motobomba”, onde são inseridos os dados da mesma, para que possam ser calculados os gastos com energia elétrica. Os dados inseridos para esta análise são: Potência, em Cv; rendimento, em %; tempo de partida, em s; custo unitário, em R\$; Tarifa de energia elétrica, em R\$/Kwh; impostos fixos e variáveis. Na

Figura 21 está representada a inserção de dados no Netuno, para o conjunto motobomba utilizado.

Foram considerados também custos operacionais com manutenção e cloração do sistema. Para tais, foram considerados custos anuais de 1% do valor total de implantação, conforme sugerido por Tomaz (2011).

Figura 20. Netuno- Inserção de tarifas de água e esgoto

Tarifas de água e esgoto

Volume (m³)
Acima de 50

Custo (R\$/m³)
4,30 Adicionar

Abaixo de 10 m³: R\$15,53 (fixo).
Entre 10 e 20 m³: R\$1,27 (por m³).
Entre 20 e 30 m³: R\$1,45 (por m³).
Entre 30 e 40 m³: R\$2 (por m³).
Entre 40 e 50 m³: R\$3,45 (por m³).

Tarifa de esgoto
 Fixa
 Variável

Percentual da tarifa de água
80

Fonte: Netuno, 2018.

Figura 21. Netuno - Inserção de dados da motobomba

Motobomba

Potência unitária
0,49 CV

Rendimento (%)
60

Vazão (litros/hora)
2400

Tempo de partida (segundos)
0,03

Custo Unitário (R\$)
0

Tarifa de energia elétrica (R\$/kWh)
0,587

Imposto fixo (R\$)
0

Imposto variável (%)
0

Considerar motobomba de reserva

Concluir

Fonte: Netuno, 2018.

Segundo Ghisi e Cordova (2014), valor da conta de água em um dado mês, é calculado pelo algoritmo do Netuno conforme a Equação 21.

$$C_{total} = \begin{cases} Cons_{\text{água}} \cdot \left(1 + \frac{j_{var}}{100}\right) + j_{fixo} + j_{esgoto}, & \text{se a tarifa de esgoto for fixa} \\ Cons_{\text{água}} \cdot \left(1 + \frac{j_{var}}{100} + \frac{j_{esgoto}}{100}\right) + j_{fixo}, & \text{se a tarifa de esgoto for variável} \end{cases} \quad (21)$$

Na qual: C_{total} é o valor total da conta de água com aproveitamento pluvial, em R\$; $Cons_{\text{água}}$ é o custo total de água consumido no mês i , em R\$; J_{var} é o imposto variável, em %; J_{fixo} é o imposto fixo, em R\$; J_{esgoto} é a tarifa de esgoto, em R\$.

Ainda segundo Ghisi e Cordova (2014), o algoritmo calcula o custo total da conta considerando as variações de tarifa com o consumo para uma ocasião sem o aproveitamento de águas pluviais e para uma outra ocasião com aproveitamento de águas pluviais. Sendo assim, a economia de água esperada é definida pela Equação 23.

$$E_{\text{água}}^i = C_{total}^{sempluv} - C_{total}^{compluv} \quad (23)$$

Na qual: $E_{\text{água}}^i$ é a economia de água num dado mês i , em R\$; $C_{total}^{sempluv}$ é o custo total da conta sem o aproveitamento pluvial, em R\$; $C_{total}^{compluv}$ é o custo total da conta com o aproveitamento pluvial, em R\$.

Com base nessa metodologia e considerando os impostos, juros, inflação e reajustes nas tarifas, o algoritmo elabora um fluxo de caixa e calcula o tempo de retorno do investimento, o VPL e a taxa interna de retorno, a partir das quais podem-se fazer conclusões sobre a viabilidade do sistema (GHISI e CORDOVA, 2014). No trabalho em questão a viabilidade do sistema foi então avaliada com a utilização do Netuno em cada uma das demandas consideradas (casos A, B e C), fazendo as devidas considerações e discussões sobre os resultados obtidos.

4 RESULTADOS E DICUSSÕES

4.1 Dimensionamento de calhas, condutores e dispositivo de primeira lavagem

O telhado da residência é composto por duas águas de áreas e proporções iguais, e devido a isso o sistema é composto por duas calhas que recebem a mesma vazão e têm características iguais. As calhas foram dimensionadas considerando seção semicircular com n igual a 0,011, de aço galvanizado ou material plástico. Considerou-se também uma chuva com intensidade de 90 mm/h, o maior valor de precipitação diário encontrado para Uberlândia nos últimos 7 anos segundo o INMET. Foram então encontradas calhas com diâmetro de 100 mm com declividade de 0,5%, suficiente para atender a vazão de projeto, conforme mostrado na Tabela 10.

Tabela 10. Dimensionamento de calhas

Área de contribuição/calha (m ²)	88,36
Coefficiente de rugosidade (n)	0,011
Coefficiente de escoamento (telha cerâmica)	0,8
Tempo de retorno (anos)	5
Intensidade pluviométrica (mm/h)	90
Vazão de projeto Q (L/min)	101,55
Capacidade da calha 100 mm p/ declividade de 2 % (L/min)	130
Diâmetro adotado (mm)	100

Fonte: Autor, 2018.

Foi considerada a existência de condutores horizontais de 16,6 metros de comprimento, dimensionados a partir das vazões das calhas. Os mesmos foram dimensionados para n igual a 0,011, e declividade igual a 1 %, de modo que a capacidade do condutor comportasse a vazão necessária, conforme a ABNT NBR 10844:1989. Os dados utilizados e resultados encontrados estão dispostos na Tabela 11.

Tabela 11. Dimensionamento dos condutores horizontais

declividade (%)	1
N	0,011
L(m)	16,6
Q (L/min)	101,55
Capacidade do condutor de DI 100 mm (L/min)	133
Diâmetro adotado (mm)	75

Fonte: Autor, 2018.

Para o dimensionamento dos condutores verticais existentes, foi utilizada a vazão total da cobertura, 202 L/min. Fazendo-se a análise do ábaco presente na Figura 5 do presente relatório, percebeu-se que o dimensionamento culminou em um condutor de diâmetro muito pequeno, inferior a 50 mm. Considerando-se que o diâmetro mínimo permitido pela ABNT NBR 10844:1989 para condutores verticais é 75 mm, utilizou-se este valor.

O dimensionamento do dispositivo de primeira lavagem foi feito conforme a ABNT NBR 10844:1989, tendo então um volume suficiente para armazenar os primeiros 2 mm de chuva. Para este dimensionamento, considerou-se a área do telhado em projeção. O resultado deste dimensionamento se apresenta na Tabela 12.

Tabela 12. Dimensionamento do dispositivo de primeira lavagem

Área de contribuição	150,4
Volume (m³) = 200 mm x ÁREA	0,3

Fonte: Autor, 2018.

4.2 Determinação do volume de reservatório

4.2.1 Métodos da ABNT NBR 15527:2007

Aplicando o Método de Rippl obtiveram-se os resultados apresentados nas Tabelas 13, 14 e 15, para as demandas A, B e C respectivamente.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 13, referentes a demanda A, nota-se que o reservatório dimensionado obteve eficiência de 100%, ou seja, conseguiu atender toda a demanda não potável durante o ano. Isso é possível porque o volume anual aproveitável de chuva é maior que a demanda de água não-potável, e o reservatório tem volume suficiente para atender os períodos de máxima seca. Entretanto, o volume encontrado, igual a 8,6 m³, é quase duas vezes maior que a demanda mensal de água não-potável, valor muito alto para o projeto residencial em questão, fato que poderia vir a inviabilizar o sistema economicamente.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 14, referentes a demanda B, nota-se que o sistema também foi capaz de atender a 100% da demanda de água não-potável, porém com um volume de 13,56 m³, provavelmente muito oneroso para o sistema.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 15, referentes a demanda C, nota-se que o reservatório atendeu a somente 80% da demanda com um volume de 43 m³, possivelmente

inviável economicamente e também topograficamente, considerando que a área do terreno é pequena.

Tabela 13. Dimensionamento do reservatório para demanda A- Método de Rippl

Dados de entrada		Dados de saída	
Área de captação (m ²)	150,4	Volume do reservatório (m ³)	8,6
Demanda não-potável(m ³)	4,5	Eficiência do sistema (%)	100

Meses	Chuva média mensal	Demanda constante mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Diferença entre volumes de demanda e volumes de chuva	Diferença acumulada positiva dos volumes
	Mm	m ³	m ²	m ³	m ³	m ³
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Janeiro	295,3	4,5	150,4	35,5	-31,0	0,0
Fevereiro	195,7	4,5	150,4	23,5	-19,0	0,0
Março	212,6	4,5	150,4	25,6	-21,1	0,0
Abril	91,1	4,5	150,4	11,0	-6,5	0,0
Mai	39,9	4,5	150,4	4,8	-0,3	0,0
Junho	17,3	4,5	150,4	2,1	2,4	2,4
Julho	10,2	4,5	150,4	1,2	3,3	5,7
Agosto	12,9	4,5	150,4	1,6	2,9	8,6
Setembro	47,8	4,5	150,4	5,8	-1,3	8,6
Outubro	111,4	4,5	150,4	13,4	-8,9	8,6
Novembro	208,3	4,5	150,4	25,1	-20,6	8,6
Dezembro	309,5	4,5	150,4	37,2	-32,7	8,6

Fonte: Autor, 2018.

O Método de Rippl se apresentou economicamente inadequado para as 3 demandas, visto que apresentou valores muito altos para os volumes dos reservatórios. A grandeza destes volumes pode ser justificada pelo fato de que o método define como volume útil o volume que corresponde ao maior déficit existente durante o ano, de forma que o sistema seja alimentado apenas por águas pluviais e trabalhe sob vazões constantes, o que não ocorre na realidade, devido as variações de chuvas durante os meses e ao longo dos anos.

Após a análise do Método de Rippl, fez-se a utilização do Método da Iteração, que permite averiguar o comportamento do sistema para valores fixados de reservatórios, afim de que se escolha um volume ideal. Porém o método não fornece parâmetros suficientes que possam permitir a escolha do reservatório ideal, e por esta razão foram escolhidos os valores mínimos

de reservatórios para o atendimento de 95 % da demanda, já que pelo Método de Rippl, os volumes de reservatório para atendimento de 100% da demanda se mostraram muito altos para implementação. Para isso, utilizou-se a ferramenta Atingir Meta do software Excel®, alterando os valores de reservatório até atingir a meta de 95% de eficiência. Os resultados encontrados estão representados resumidamente na Tabela 16, e as planilhas completas de dimensionamento para as demandas A, B e C podem ser encontradas nos ANEXOS A B e C respectivamente.

Tabela 14. Dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl: Demanda B

Dados de entrada				Dados de saída		
Área de captação (m ²)		150,4		Volume do reservatório (m ³)		13,6
Demanda não-potável(m ³)		5,8		Eficiência do sistema (%)		100
Meses	Chuva média mensal	Demanda constante mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Diferença entre volumes de demanda e volumes de chuva	Diferença acumulada dos volumes
	mm	m ³	m ²	m ³	m ³	m ³
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Janeiro	295,3	5,8	150,4	35,5	-29,7	0,0
Fevereiro	195,7	5,8	150,4	23,5	-17,7	0,0
Março	212,6	5,8	150,4	25,6	-19,8	0,0
Abril	91,1	5,8	150,4	11,0	-5,2	0,0
Maio	39,9	5,8	150,4	4,8	1,0	1,0
Junho	17,3	5,8	150,4	2,1	3,7	4,7
Julho	10,2	5,8	150,4	1,2	4,6	9,3
Agosto	12,9	5,8	150,4	1,6	4,2	13,5
Setembro	47,8	5,8	150,4	5,8	0,0	13,6
Outubro	111,4	5,8	150,4	13,4	-7,6	13,6
Novembro	208,3	5,8	150,4	25,1	-19,3	13,6
Dezembro	309,5	5,8	150,4	37,2	-31,4	13,6

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 15. Dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl: Demanda C

Dados de entrada			Dados de saída			
Área de captação (m ²)		150,4	Volume do reservatório (m ³)		43,0	
Demanda não-potável(m ³)		11,56	Eficiência do sistema (%)		80%	
Meses	Chuva média mensal	Demanda constante mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Diferença entre volumes de demanda e volumes de chuva	Diferença acumulada dos volumes
	mm	m ³	m ²	m ³	m ³	m ³
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Janeiro	295,3	11,56	150,4	35,5	-24,0	0,0
Fevereiro	195,7	11,56	150,4	23,5	-12,0	0,0
Março	212,6	11,56	150,4	25,6	-14,0	0,0
Abril	91,1	11,56	150,4	11,0	0,6	0,6
Maiο	39,9	11,56	150,4	4,8	6,8	7,4
Junho	17,3	11,56	150,4	2,1	9,5	16,8
Julho	10,2	11,56	150,4	1,2	10,3	27,2
Agosto	12,9	11,56	150,4	1,6	10,0	37,2
Setembro	47,8	11,56	150,4	5,8	5,8	43,0
Outubro	111,4	11,56	150,4	13,4	-1,8	43,0
Novembro	208,3	11,56	150,4	25,1	-13,5	43,0
Dezembro	309,5	11,56	150,4	37,2	-25,7	43,0

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 16. Dimensionamento de reservatórios pelo Método da Iteração

Demanda	Volume do reservatório (m ³)
A (4,5 m ³)	3,2
B (5,8 m ³)	6,6
C (11,43m ³)	29,1

Fonte: Autor, 2018.

Para as demandas A e B, o método encontrou valores possivelmente aplicáveis economicamente, e com eficiência razoável. Entretanto, a demanda C ainda encontrou valores muito altos, inviabilizando o sistema. Verifica-se então um aumento considerável do reservatório com o aumento da demanda.

Comparando os resultados encontrados para os métodos da ABNT NBR 15527:2007, percebe-se que o Método de Azevedo Neto e o método inglês trazem valores iguais independentemente dos valores de demanda, o que torna os métodos pouco eficientes podendo retornar reservatórios superdimensionados ou subdimensionados para situações diferentes. Além disso,

tais métodos retornaram valores muito altos e que inviabilizariam o sistema, razão pela qual foram descartados.

O Método de Rippl também foi descartado pois apresentou volumes muito altos para o projeto.

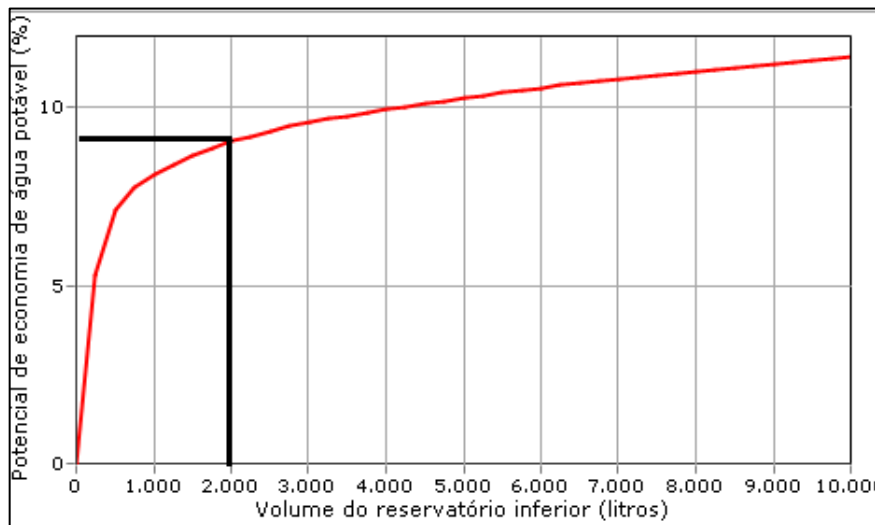
Os métodos da iteração e prático alemão obtiveram resultados razoáveis para as demandas A e B, e somente o Método Prático Alemão retornou um valor possivelmente aplicável para a demanda C do ponto de vista econômico. Entretanto, o Método Prático Alemão não leva em conta as variações de chuva ao longo do ano e por isso ele pode ser ineficiente para a região, visto que o regime de chuvas no qual o método foi desenvolvido, a Alemanha, é diferente do regime de Uberlândia (MG).

Somente os métodos de Rippl e da Iteração levam em conta as variações mensais de volume aproveitável ao longo do ano, porém ambos consideram que o regime de chuvas e as vazões no reservatório são constantes ao longo do mês. Entretanto, sabe-se que o regime de chuvas varia diariamente, de modo que não chove em todos os dias do ano e em outros dias podem ocorrer precipitações de grande intensidade, onde os volumes podem não ser totalmente armazenados devido ao extravasamento. Além disso, os métodos não levam em consideração o aspecto econômico para a determinação dos reservatórios, que é o aspecto de maior importância no projeto em questão.

4.2.2. Método Netuno

Para a demanda A, o método Netuno obteve um reservatório inferior idealizado em 2.000 L, totalizando um volume de reserva de 2500 L quando somado ao volume do reservatório superior. Observando a Figura 22, percebe-se que tal reservatório atingiu um potencial de economia de água potável igual a 9,04 %, 3 % abaixo do total esperado para a demanda.

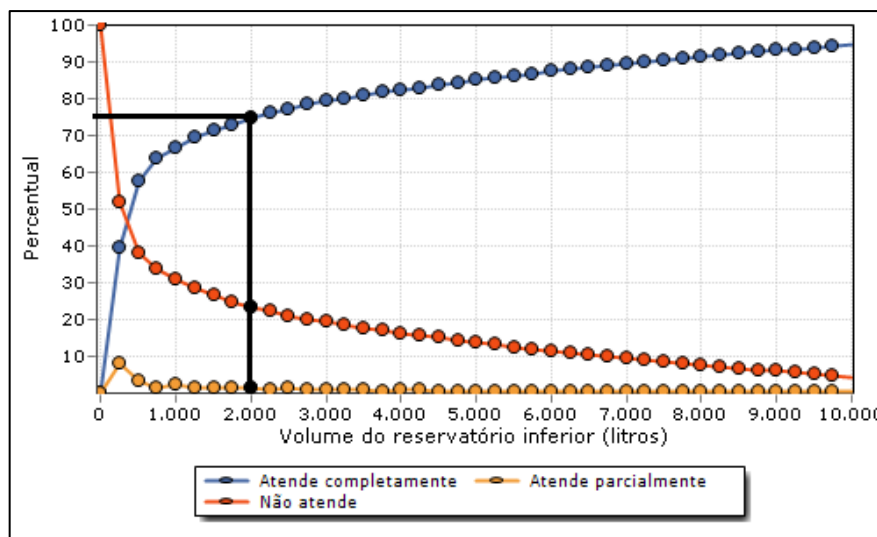
Figura 22. Volume do reservatório x Potencial de economia (Demanda A)



Fonte: Netuno, 2018.

Observando o gráfico da Figura 23, nota-se que o reservatório conseguiu suprir completamente a demanda em 74,97 % dos dias, sendo assim parcialmente eficiente. No anexo E, encontra-se a planilha completa gerada pelo netuno para o reservatório A, que contém dados mais detalhados do dimensionamento.

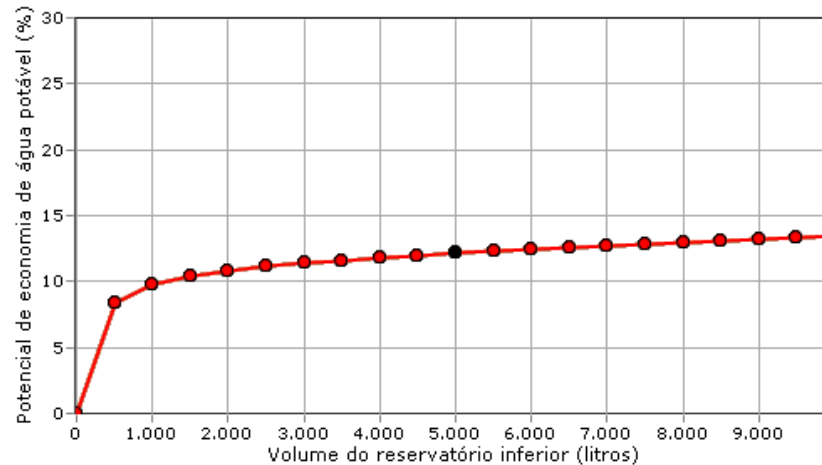
Figura 23. Gráfico: Volume x Percentual da demanda atendida (Demanda A)



Fonte: Netuno, 2018.

Para a demanda B, o volume encontrado para o reservatório inferior foi de 5.000 L, totalizando 6.000 L de volume para reserva. Observando a Figura 24, percebe-se que o reservatório atingiu um potencial de economia de água potável igual a 12,24%, aproximadamente 3% abaixo do total esperado para a demanda.

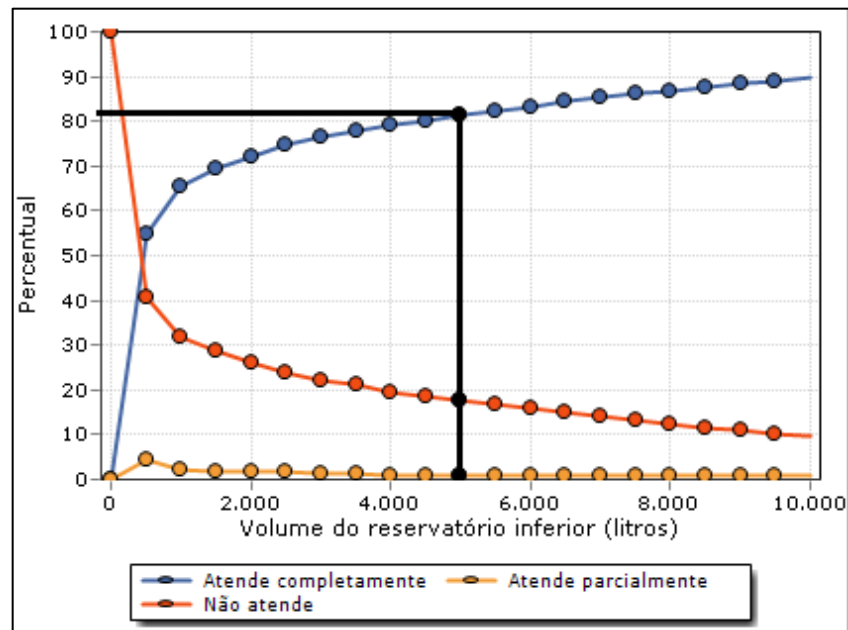
Figura 24. Volume do reservatório x potencial de economia de água (Demanda B)



Fonte: Netuno, 2018.

Observando o gráfico da Figura 25, nota-se que o reservatório conseguiu suprir completamente a demanda em 81,23 % dos dias, sendo assim parcialmente eficiente. No anexo F, encontra-se a planilha completa gerada pelo netuno para o reservatório da demanda B, contendo dados mais detalhados do dimensionamento.

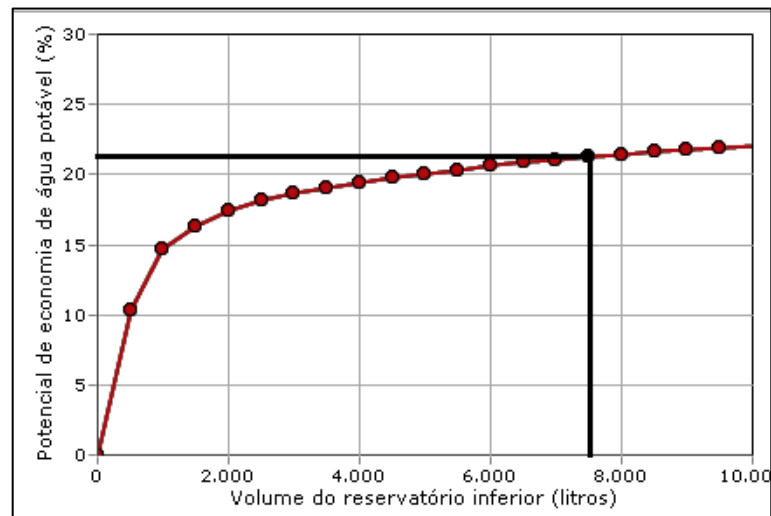
Figura 25. Volume x Percentual da demanda atendida (Demanda B)



Fonte: Netuno, 2018.

Para a demanda C, o volume ideal para o reservatório inferior encontrado pelo Netuno foi de 7500 L, com um potencial de economia de água potável de 21,27 %, aproximadamente 8,5% a menos que o objetivado, como mostrado no gráfico representado na Figura 26.

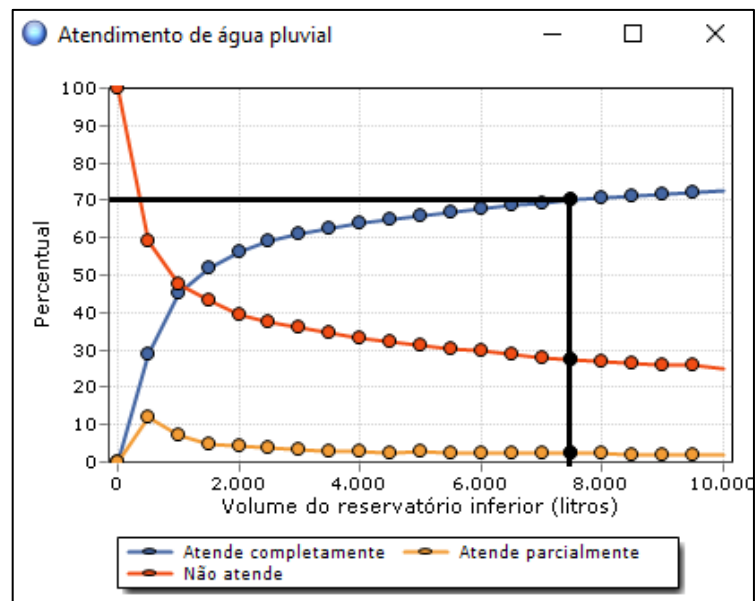
Figura 26. Volume do reservatório x Potencial de economia de água (Demanda C)



Fonte: Netuno, 2018.

Ainda para a demanda C, o reservatório dimensionado conseguiu atender a demanda não potável em 70,22 % dos dias, sendo assim parcialmente eficiente, como mostrado no gráfico da Figura 27. A planilha detalhada de resultados do Netuno encontra-se no Anexo E.

Figura 27. Volume do reservatório x Percentual da demanda atendida (Demanda C)



Fonte: Netuno, 2018.

Na Tabela 18 estão representados os valores de reservatórios encontrados para cada um dos métodos. Comparando os resultados da ABNT NBR 15527:2007 com o método do Netuno, percebe-se que os métodos da iteração, prático alemão e o método Netuno foram os que apresentaram menores valores para os volumes. Segundo Rupp, Munarin e Ghisi (2011), em estudos comparativos de métodos para a definição de reservatório nas cidades de Santos (SP),

Palhoça (SC) e Santana do Ipanema (AL), os métodos Netuno e Prático Alemão também levaram a menores volumes de reservatório, não justificando a utilização dos reservatórios superdimensionados provenientes dos demais métodos. Ainda segundo os autores, o método Netuno funcionou satisfatoriamente para as três cidades analisadas, otimizando o dimensionamento dos reservatórios por se basear no potencial de economia de água. No presente trabalho, foram considerados os volumes obtidos pelo Netuno para efeitos de avaliação econômica.

Tabela 17. Resumo do dimensionamento de reservatórios

MÉTODO	Volume (m ³)		
	Demanda A	Demanda B	Demanda C
Rippl	8,6	13,6	43,0
Iteração	3,24	6,6	29,1
Azevedo neto	29,4	29,4	29,4
Prático alemão	3,24	4,2	8,3
Prático inglês	11,7	11,7	11,7
Netuno	3,5	6,0	10,0

Fonte: Autor, 2018.

4.3 Orçamento do sistema

O orçamento realizado foi dividido em partes, para inserção no programa Netuno. Os resultados encontram-se representados nas Tabelas ,19, 20, 21 e 22.

Tabela 18. Custos com mão de obra

Item	Unidade	Custo unitário	Quantidade	Total (R\$)	Fonte
Eletricista com encargos	h	16,18	5	80,9	SINAPI
Encanador com encargos	h	19,43	24	466,32	SINAPI
Custo de mão de obra (R\$)				547,22	

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 19. Custos de tubulações, conexões e acessórios

Item	Unidade	Custo unitário	Quantidade	Total (R\$)	Fonte
Tubo PVC soldável DN 25 mm (NBR-5648)	m	2,38	2,0	4,76	SINAPI
Tubo PVC soldável DN 20 mm (NBR-5648)	m	1,87	18	33,66	SINAPI
Tubo PVC DN 75 mm, para esgoto ou águas pluviais prediais (NBR5688)	m	9,52	19,0	180,88	SINAPI
Joelho PVC soldável 90° 20 MM	unid.	0,36	8	2,88	SINAPI
Joelho PVC soldável 90° 25 MM	unid.	0,54	5	2,7	SINAPI
Registro de esfera PVC com válvula externa 3x4"	unid.	10,81	2,0	21,62	SINAPI
Joelho PVC soldável 90° DN 75 mm para água fria predial	unid.	54,6	6,0	327,6	SINAPI
Torneira metálica de boia convencional para caixa d'água com haste e balão plástico	unid.	17,74	4,0	70,96	SINAPI
Adaptador PVC soldável 20 mm, com flange e anel de vedação para caixa d'água	unid.	9,8	2,0	19,6	SINAPI
Adaptador PVC soldável 75 mm com flange e anel de vedação para caixa d'água	unid.	15,42	4,0	61,68	SINAPI
Adaptador PVC Soldável, com flange e anel de vedação para caixa d'água 20 MM X 1/2"	unid.	9,8	2	19,6	SINAPI
Tê soldável PVC 90° 75 MM, para água predial	unid.	36	1,0	36	SINAPI
Custo de tubos e conexões (R\$)				781,94	

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 20. Custos de acessórios

Item	Unidade	Custo unitário	Quantidade	Total (R\$)	Fonte
Calha de PVC, peças e acessórios e instalação	m	56,54	18,8	1062,952	SINAPI
Filtro de água de chuva de baixo custo	unid.	43	3,0	129	Sempre Sustentável
Caixa d'água polietileno Fortlev 310L para descarte de primeiras águas	unid.	126,6	1,0	126,6	AQUA FORT
3 Sensores de nível de líquidos + placa de controle de níveis + eletrodutos	unid.	196,23	1,0	196,23	JAFS Eletronics
Bomba centrífuga motor elétrico monofásico 0,37 HP 1"x 3/4" HM/Q: 6 M / 2,4 M³/H	unid.	202,32	1,0	202,32	SINAPI
Custos totais de acessórios (R\$)				1717,102	

Fonte: Autor, 2018.

Tabela 21. Custos dos reservatórios

Demanda	Reservatório superior		Reservatório inferior		Custo total(R\$)
	Item	Custo (R\$)	Item	Custo (R\$)	
A	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 500 LITROS	190,9	CAIXA D'ÁGUA EM POLIETILENO 2000 LITROS	756,1	947
B	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 1000 LITROS	332,5	CAIXA D'ÁGUA EM POLIETILENO 5000 LITROS	1598,8	1931,3
C	CAIXA D'AGUA EM POLIETILENO 1000 LITROS	332,5	CAIXA D'ÁGUA EM POLIETILENO 7500 LITROS	2865,22	3197,72

Fonte: Autor, 2018.

Na Tabela 23, encontram-se os orçamentos totais para cada uma das demandas. Os dados nela representam o somatório dos custos de reservatórios, acessórios, tubulações e mão de obra. Conclui-se então que os custos de implantação foram devidamente definidos para a análise econômica.

Tabela 22. Custos totais de implantação do sistema

Demanda	Custos iniciais totais(R\$)
A	3993,262
B	4977,562
C	6243,982

Fonte: Autor, 2018.

4.4 Análise financeira – Netuno

Os resultados obtidos com a análise do Netuno para a demanda A estão dispostos na Figura 28. Observando-a nota-se que os consumos de água pluvial foram significativos, implicando em uma racionalização do consumo de água, como era esperado do ponto de vista quantitativo. Contudo, nota-se que o valor da conta de água com utilização do sistema de aproveitamento pluvial não teve diminuição significativa em relação ao valor da conta sem a utilização do sistema. Segundo os dados fornecidos pelo programa, o projeto não apresentou retorno financeiro no período de 20 anos que foi analisado. O VPL apresentado foi de R\$-2.743,99, mostrando que o investimento é inviável do ponto de vista econômico, já que o Valor Presente Líquido foi negativo.

Figura 28. Estimativas de consumo e economia de água - Demanda A

Mês	Consumo total mensal (litros)	Consumo de água pluvial (litros)	Consumo de água potável (litros)	Volume de água pluvial recalcado (litros)	Valor da conta sem utilização de água pluvial (R\$)	Valor da conta com utilização de água pluvial (R\$)	Economia mensal (R\$)
Jan	38750	4650,00	34100,00	4768,75	66,56	56,90	9,65
Fev	35000	4200,00	30800,00	4200,00	58,77	50,05	8,72
Mar	38750	4650,00	34100,00	4650,00	66,56	56,90	9,65
Abr	37500	4421,43	33078,57	4207,14	63,96	54,78	9,18
Mai	38750	3385,33	35364,67	3252,17	66,56	59,53	7,03
Jun	37500	2772,57	34727,43	2739,76	63,96	58,21	5,76
Jul	38750	1633,15	37116,85	1256,45	66,56	63,17	3,39
Ago	38750	1004,81	37745,19	1129,26	66,56	64,47	2,09
Set	37500	2582,19	34917,81	2778,29	63,96	58,60	5,36
Out	38750	3857,14	34892,86	4300,69	66,56	58,55	8,01
Nov	37500	4500,00	33000,00	4500,00	63,96	54,62	9,34
Dez	38750	4650,00	34100,00	4642,86	66,56	56,90	9,65

Fonte: Netuno, 2018

Para a demanda B, os resultados obtidos estão representados na Figura 29. Para tal demanda, o consumo de água pluvial cresceu consideravelmente com o aumento do reservatório. Entretanto, a economia mensal estimada com a utilização do sistema não foi grande, e o sistema também não teve um tempo de retorno estimado dentro do período analisado. O VPL encontrado foi de R\$-3763,1, indicando inviabilidade do sistema.

As estimativas de consumo para a demanda C estão representadas na Figura 30. Nota-se que a economia de água dobrou de valor, porém ainda sendo pequena para que o sistema atendesse com eficiência o aspecto econômico, que não obteve tempo de retorno dentro da vida útil do projeto. O VPL encontrado foi de R\$-2.595,28, caracterizando inviabilidade do sistema.

Observa-se que o sistema se mostrou inviável para as 3 demandas observadas. Para efeitos de comparação, os reservatórios foram analisados para a cidade de Araxá (MG), cuja distância em relação a Uberlândia é 178 km, considerando os mesmos custos de implantação anteriormente calculados, dados de precipitação e tarifas de água e esgoto referentes a cidade, fornecidas pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), representadas na Tabela 24.

Figura 29. Estimativas de consumo e economia - Demanda B

Mês	Consumo total mensal (litros)	Consumo de água pluvial (litros)	Consumo de água potável (litros)	Volume de água pluvial recalcado (litros)	Valor da conta sem utilização de água pluvial (R\$)	Valor da conta com utilização de água pluvial (R\$)	Economia mensal (R\$)
Jan	38750	5812,50	32937,50	5935,94	61,72	50,00	11,72
Fev	35000	5250,00	29750,00	5248,24	54,16	43,71	10,45
Mar	38750	5812,50	32937,50	5800,00	61,72	50,00	11,72
Abr	37500	5625,00	31875,00	5642,86	59,20	47,86	11,34
Mai	38750	5301,57	33448,43	5094,72	61,72	51,03	10,69
Jun	37500	4349,71	33150,29	4191,47	59,20	50,43	8,77
Jul	38750	2504,85	36245,15	2101,36	61,72	56,67	5,05
Ago	38750	1533,00	37217,00	1643,54	61,72	58,63	3,09
Set	37500	3341,48	34158,52	3721,35	59,20	52,46	6,74
Out	38750	4847,92	33902,08	5115,35	61,72	51,95	9,77
Nov	37500	5625,00	31875,00	5628,57	59,20	47,86	11,34
Dez	38750	5812,50	32937,50	5814,29	61,72	50,00	11,72

Fonte: Netuno, 2018.

Figura 30. Estimativas de consumo e economia - Demanda C

Mês	Consumo total mensal (litros)	Consumo de água pluvial (litros)	Consumo de água potável (litros)	Volume de água pluvial recalcado (litros)	Valor da conta sem utilização de água pluvial (R\$)	Valor da conta com utilização de água pluvial (R\$)	Economia mensal (R\$)
Jan	38750	11625,00	27125,00	11718,75	61,72	39,88	21,84
Fev	35000	10500,00	24500,00	10482,41	54,16	36,04	18,12
Mar	38750	11524,25	27225,75	11488,53	61,72	40,02	21,69
Abr	37500	10969,63	26530,37	10829,25	59,20	39,01	20,19
Mai	38750	7704,43	31045,57	7597,59	61,72	46,19	15,53
Jun	37500	5456,91	32043,09	5097,67	59,20	48,20	11,00
Jul	38750	1638,07	37111,93	1673,79	61,72	58,42	3,30
Ago	38750	2239,96	36510,04	2257,82	61,72	57,20	4,52
Set	37500	4348,70	33151,30	4361,88	59,20	50,43	8,77
Out	38750	8161,17	30588,83	8696,79	61,72	45,27	16,45
Nov	37500	11250,00	26250,00	11200,53	59,20	38,60	20,60
Dez	38750	11625,00	27125,00	11714,29	61,72	39,88	21,84

Fonte: Netuno, 2018.

Para os reservatórios A, B e C, os resultados encontrados na análise financeira para a cidade de Araxá estão representados na Tabela 25.

Tabela 23. Tarifas de água Araxá (MG)

Faixa de consumo	Tarifa mínima residencial
Tarifa fixa	R\$ 15,29
De 0 a 5 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 0,96
De 5 a 10 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 3,089
De 10 a 15 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 6,407
De 15 a 20 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 7,637
De 20 a 40 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 8,367
Acima de 40 m ³	preço por m ³ excedente R\$ 13,663

Fonte: COPASA, 2017.

Tabela 24. Viabilidade econômica Araxá (MG)

Caso	Demanda (m ³)	Volume de reserva (m ³)	Tempo de retorno do investimento (anos)	VPL
A	4,5	2,5	7,7	R\$ 8.123,00
B	6,8	6	6,75	R\$ 10.148,00
C	11,567	8,5	6,25	R\$ 11.159,82

Fonte: Autor, 2018.

Como observado anteriormente, o sistema se mostrou viável para a cidade de Araxá (MG), cujas tarifas dos serviços de água e esgoto são nitidamente maiores quando comparadas a cidade de Uberlândia (MG), na qual o sistema não foi viável. O sistema observado obteve tempo de retorno de 6 a 8 anos, e VPL de até R\$ 11.159,82. Nota-se então, que o preço dos serviços de água tem grande interferência na viabilidade econômica do aproveitamento pluvial. Percebe-se então um possível potencial econômico para a aplicação do sistema nas regiões próximas a Uberlândia, muitas delas estão submetidas a tarifas da COPASA.

Outro fator que pode ter influência sobre os resultados é que o programa computacional Netuno considera que os reajustes nas tarifas de água têm taxas de valores iguais a inflação, o que não tem ocorrido na realidade já que as taxas nos últimos 8 anos têm uma média de reajuste de aproximadamente 10% a.a. e a taxa de inflação teve média de 4%a.a. Uma das prováveis razões para que a taxa de reajuste seja maior que a inflação é a valorização da água, que se encontra cada dia mais escassa.

5 CONCLUSÃO

Ao término deste trabalho de conclusão de curso, conclui-se que os objetivos traçados inicialmente foram alcançados com sucesso, os componentes do sistema foram devidamente dimensionados e orçados, e o sistema foi corretamente avaliado sob os pontos de vista quantitativos e econômicos.

Uma avaliação dos dados pluviométricos de Uberlândia (MG) mostra a existência de um regime anual de chuvas variável, com grandes volumes de novembro à abril, seguido de um período de estiagem nas demais épocas do ano. A ocorrência deste regime inconstante prejudica o funcionamento do sistema de aproveitamento pluvial, já que são necessários grandes volumes de reservatório para que se consiga suprir as demandas não-potáveis nos períodos de secas. Apesar disso, o balanço hídrico do município se mostrou quantitativamente viável para o

aproveitamento pluvial, conseguindo uma diminuição anual de até 38.000L do consumo de água potável para o atendimento da demanda C.

Observa-se também que os valores de consumo utilizados na pesquisa, estimados por Tomaz (2003) e PROSAB (2006), podem não retratar fielmente a realidade de consumo da cidade de Uberlândia (MG), já que utilizam dados de outras épocas e regiões. Contudo, estes dados foram suficientes para estimar as demandas não-potáveis para a realização dos cálculos. Salienta-se que maiores pesquisas sobre consumo residencial na cidade de Uberlândia (MG) podem trazer resultados interessantes e mais expressivos para pesquisas e projetos que visam a racionalização da água.

O dimensionamento dos reservatórios pelos métodos da ABNT NBR 15527:2007 apresentou resultados adversos. O dimensionamento pelo Método de Rippl, assim como em outros estudos feitos, apresentou volumes muito altos para as demandas A, B e C, considerados inviáveis de aplicação. Isso ocorre porque o método visa suprir todas as demandas possíveis no período de maior estiagem, sendo necessários grandes armazenamentos.

Um erro encontrado nos métodos de Rippl e de iteração é a consideração de que os regimes de precipitações e vazões no reservatório são constantes ao longo dos meses. Tal premissa não ocorre na realidade visto que não chovem todos os dias do ano, podendo ocorrer poucos dias com grande intensidade pluviométrica e grandes períodos de estiagem ou de chuvas pouco aproveitáveis ao sistema. Aplicações destes métodos para regimes diários de precipitação podem trazer resultados expressivos para a análise da eficiência dos mesmos.

Conclui-se também que os métodos de Azevedo Neto e Prático Inglês não se mostraram boas alternativas para o dimensionamento dos reservatórios, pois apresentaram os mesmos valores de reservatórios independentemente da demanda analisada, caracterizando assim uma insuficiência de critérios para análise, podendo estar superdimensionados em alguns casos e insuficientes em outros.

Foi possível verificar que os métodos da Iteração e Prático Alemão retornaram valores interessantes para o dimensionamento dos reservatórios, sendo potencialmente viáveis economicamente. Quando comparados com o método computacional Netuno, o segundo obteve valores parecidos, porém mais vantajosos em relação algoritmo utilizado, já que ele apresenta resultados com base em dados de precipitação diários, sendo provavelmente mais fiéis a realidade. Por esta razão, os resultados obtidos no dimensionamento de reservatórios pelo

método Netuno foram utilizados para aplicação, tendo valores de reservatórios inferiores iguais a 2,00 m³, 5m³ e 7,5m³, para as demandas A, B e C respectivamente.

Para as demandas A, B e C, somando os volumes dos reservatórios inferiores aos dos reservatórios superiores obtiveram-se volumes de reserva totais iguais a 2,5m³, 6m³ e 8,5m³ respectivamente. O volume de reserva para a demanda A conseguiu atender a 74,97 % da demanda não-potável, caracterizando uma substituição de 9,04% da demanda potável por água pluvial. Para as demandas B e C, foram atendidas 81,2% e 70,22 % da demanda não-potável, e foram substituídas 11,22 % e 21,27 % das demandas potáveis.

Nota-se que nenhum dos métodos de dimensionamento de reservatórios analisados leva em conta aspectos econômicos, tendo resultados muitas das vezes subjetivos. A criação de um algoritmo para o cálculo de reservatórios que leve em conta os custos e benefícios de implantação em relação ao volume de reserva pode trazer resultados interessantes para a evolução das pesquisas no assunto, visando assim a obtenção de um reservatório ótimo do ponto de vista econômico e do desenvolvimento sustentável.

O software Netuno se mostrou uma ótima ferramenta para análise econômica de sistemas de aproveitamento pluvial. Contudo, o sistema admite que as taxas de inflação são iguais as taxas de reajustes para a água e energia elétrica, o que nem sempre é verdade e pode afetar negativamente nos resultados.

Com a finalização do estudo econômico, o sistema de aproveitamento pluvial não se apresentou viável financeiramente para nenhuma das 3 demandas, não apresentando tempo de retorno dentro do período de vida útil do projeto. Entretanto, uma comparação simplificada para Araxá (MG), mostrou que pode haver potencial econômico para a aplicação do sistema na região, podendo obter resultados interessantes. Conclui-se que a razão mais provável para inviabilidade do sistema na cidade de Uberlândia (MG), é que a mesma tem uma das tarifas de água e esgoto mais baixas do país, e por essa razão os benefícios obtidos com a economia de água advinda do aproveitamento pluvial não compensam os gastos de sua implantação e operação, apesar da viabilidade do ponto de vista quantitativo e ambiental. Apesar do presente estudo mostrar a inviabilidade do sistema para o projeto em questão, é possível que seja viável para aplicações em outros tipos de edificações na cidade, em que ocorrem maiores consumos como em indústrias por exemplo. Possíveis incentivos fiscais do governo podem tornar o sistema mais viável para residências, trazendo benefícios em todos os aspectos.

BIBLIOGRAFIA

AQUAFORT. Caixas d'água e reservatórios. 2018. Disponível em: <<https://www.acquafort.com.br/subcategoria.php?categoria=62&pag=1>>. Acesso em: 25, jun. 2018.

AQUESOL. Kit com filtro para cisterna aquasave 3p technik, 2018. Aquesol.com. Disponível em: <http://www.aquesol.com/produtos/0,5092_kit-com-filtro-para-cisterna-acquasave-3p-technik>. Acesso em: 10 de fevereiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**. Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 15527**: Água e chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Taxa Selic. BCB, 2018. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/pt-br#!/n/selictaxa>>. Acesso em: 26, jun. 2018.

BAUERMAN, Bruno. **Estudo de viabilidade econômica na construção civil: análise de risco utilizando o método de monte carlo**, 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/110116>>. Acesso em: 12, jun. 2018.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 8 de jan. de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**, Brasília, DF, jan 1997.

BRASIL. Lei n. 13.501/2017, de 30 de out. de 2017. **Incentivo a captação e aproveitamento de águas pluviais**, Brasília, DF, out 2017.

CEMIG. Valores de tarifas e serviços. 2018. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 01, jun. 2018.

COPASA. Tarifas de água em vigor, 2017. Companhia de Saneamento de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/agencia-virtual/mais-servicos/atendimento-informacoes/tarifas-em-vigor-2017>>. Acesso em: 03, jun. 2018.

CRESAN. Reajuste tarifário. Prefeitura Municipal de Uberlândia, 2017. Disponível em:<http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/7293.pdf>. Acesso em: 12, mai. 2018.

CULTURAMIX. Conceitos importantes de economia: Juros e fluxo de caixa, 2010. Disponível em:<<http://economia.culturamix.com/medidas/conceitos-importantes-de-economia-juros-e-fluxo-de-caixa>>. Acesso em: 12 de maio, 2018.

CURITIBA, Lei nº 10.725/03, de 18 de set. de 2003. Programa de conservação e uso racional da água em edificações- PURAE. Curitiba, PR, set, 2003.

DACACH, N. G. Saneamento básico. 3a. edição revisada. Rio de Janeiro: EDC-Ed. **Didática e científica**. 1990.

DMAE. Cálculo da Conta. Departamento Municipal de Água e Esgoto. Uberlândia, 2018. Disponível em:< <http://www.dmae.mg.gov.br/?pagina=Conteudo&id=999>>. Acesso em: 12, mai. 2018.

DOS SANTOS, M.A.R. (2016). **Viabilidade de sistemas de aproveitamento de águas pluviais: estudo de caso em casas do bairro Jardins Mangueiral/DF**. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 52 p. Disponível em:< <http://bdm.unb.br/handle/10483/17085>>. Acesso em: 16, março de 2018.

ENGORMIX. Aproveitamento de água da chuva na produção de suínos e aves, 2013. Disponível em:<<https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/chuva-agua-producao-suinos-t38088.htm>>. Acesso em: 23 de fevereiro, 2018.

EPA (Environmental Protection Agency). Cross-connection- control manual. USA, 2003, 52 p.

FEPI. **Estudo da viabilidade econômica do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em residências em Itajubá– Minas Gerais**. Itajubá, 2016. Disponível em:<<http://www.fepi.br/revista/index.php/revista/article/view/513>>. Acesso em; 5 de fevereiro, 2018.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. Netuno. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.

LOPES, G.B. **Estudo de viabilidade técnica do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

MARINOSKI, Deivis Luis; GHISI, Eneidir; GÓMEZ, Luiz Alberto. **Aproveitamento de água pluvial e dimensionamento de reservatório para fins não potáveis: estudo de caso em um conjunto residencial localizado em Florianópolis-SC**. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2004.

MAISUMAENGENHARIA. **Reaproveitamento de água da chuva**. Maisumaengenhenaria.blogspot.com, 2015. Disponível em: <<http://maisumaengenhenaria.blogspot.com/2015/08/reaproveitamento-da-agua-de-chuva.html>>. Acesso em: 12 de fevereiro, 2018.

MAY, Simone. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica. Universidade. de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://observatorio.faculdadeguanambi.edu.br/wp-content/uploads/2015/07/May-2004.pdf>>. Acesso em: 12 de fevereiro, 2018.

MUNDO DA ELÉTRICA. Controle de nível de tanque superior abastecido por tanque inferior, 2018. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/controle-de-nivel-de-tanque-superior-abastecido-por-tanque-inferior/>>. Acesso em: 05, jun. 2018.

NOVACALHA. Telas de proteção, 2017. Disponível em: <<https://www.novacalha.com.br/>>. Acesso em: 30 de março, 2018.

PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**/Ricardo Franci Gonçalves (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352p.:il

PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**/ Antônio Marozzi Righetto (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396p.:il

PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. **Uso Racional da Água em Edificações** /Ricardo Franci Gonçalves (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006.

PUCCINI, Ernesto Coutinho. Matemática financeira e análise de investimentos / Ernesto Coutinho Puccini. –Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília]: CAPES: UAB, 2011.

RODRIGUES, L. C. S. **Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

RUPP, Ricardo Formaggiarini; MUNARIM, Ulisses; GHISI, Enedir. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v. 11, n.4, p.47-64, Dec. 2011. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212011000400005&lng=en&nrm=iso>.accession 06 July 2018.

SÃO PAULO. Lei nº 12.526, de 02 de jan. de 2007. **Normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais.** São Paulo, SP, jan. 2007.

SALLA, Márcio; LOPES, Gabriela; PEREIRA, Carlos; NETO, João; PINHEIRO, Aline. Viabilidade técnica de implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em universidade. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v.13, n.2, p.167-181, Jun. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212013000200013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 22, Jun. 2018.

SEMPRESUSTENTÁVEL. Filtro de água de chuva de baixo custo, modelo autolimpante, 2014. Disponível em: <<http://sempresustentavel.com.br>>. Acesso em: 18 de abril, 2018.

SINAPE. Relatório de Insumos e Composições - ABR/18 - SEM DESONERAÇÃO. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648>. Acesso em: 15, mai. 2018.

TOMAZ, Plinio. **Aproveitamento de água de chuva.** Guarulhos: PLINIO TOMAZ, 2011. Disponível em: <<http://pliniotomaz.com.br/livros-digitais/>>. Acesso em: 12 de fevereiro, 2018.

ANEXO A – Planilha de dimensionamento Método da Iteração – Demanda A

Dados de entrada				Dados de saída					
Demanda mensal (m ³)		4,5		Volume potável anual necessário (m ³)		5,4			
Área de captação(m ²)		150,4		Volume da demanda anual atendida (m ³)		48,6			
Volume fixado para reservatório (m ³)		3,24		Eficiência anual do sistema		90,00%			
Meses	Chuva média mensal	Demanda constante mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Volume de reservatório fixado	S(t-1)	S(t)	Demanda externa necessária	Eficiência mensal
	Mm	m ³	m ²	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	%
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	coluna 6	coluna 7	coluna 8	coluna 9	coluna 10
Jan.	295,3	4,5	150,4	35,5	3,24	0	3,2	0,0	100,0%
Fev.	195,7	4,5	150,4	23,5	3,24	3,2	3,2	0,0	100,0%
Mar.	212,6	4,5	150,4	25,6	3,24	3,2	3,2	0,0	100,0%
Abr.	91,1	4,5	150,4	11,0	3,24	3,2	3,2	0,0	100,0%
Mai.	39,9	4,5	150,4	4,8	3,24	3,2	3,2	0,0	100,0%
Jun.	17,3	4,5	150,4	2,1	3,24	3,2	0,8	0,0	100,0%
Jul.	10,2	4,5	150,4	1,2	3,24	0,8	-2,5	2,5	95,5%
Ago.	12,9	4,5	150,4	1,6	3,24	0,0	-2,9	2,9	94,5%
Set.	47,8	4,5	150,4	5,8	3,24	0,0	1,3	0,0	100,0%
Out.	111,4	4,5	150,4	13,4	3,24	1,3	3,2	0,0	100,0%
Nov.	208,3	4,5	150,4	25,1	3,24	3,2	3,2	0,0	100,0%
Dez.	309,5	4,5	150,4	37,2	3,24	3,2	3,2	0,0	100,0%

Fonte: Autor, 2018.

ANEXO B - Planilha de dimensionamento Método da Iteração – Demanda B

Dados de entrada				Dados de saída					
Demanda mensal (m ³)		5,8		Volume potável anual necessário (m ³)		7,0			
Área de captação(m ²)		150,4		Volume da demanda anual atendida (m ³)		62,6			
Volume fixado para reservatório (m ³)		6,62		Eficiência anual do sistema		0,90			
Meses	Chuva média mensal	Demanda constante mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Volume fixado para o reservatório	S(t-1)	S(t)	Demanda externa necessária	Eficiência mensal do sistema
	mm	m ³	m ²	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	%
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	coluna 6	coluna 7	coluna 8	coluna 9	coluna 10
Jan.	295,3	5,8	150,4	35,5	6,62	0	6,6	0,0	100,0%
Fev.	195,7	5,8	150,4	23,5	6,62	6,6	6,6	0,0	100,0%
Mar.	212,6	5,8	150,4	25,6	6,62	6,6	6,6	0,0	100,0%
Abr.	91,1	5,8	150,4	11,0	6,62	6,6	6,6	0,0	100,0%
Mai.	39,9	5,8	150,4	4,8	6,62	6,6	5,6	0,0	100,0%
Jun.	17,3	5,8	150,4	2,1	6,62	5,6	1,9	0,0	100,0%
Jul.	10,2	5,8	150,4	1,2	6,62	1,9	-2,7	2,7	96,2%
Ago.	12,9	5,8	150,4	1,6	6,62	0,0	-4,2	4,2	93,9%
Set.	47,8	5,8	150,4	5,8	6,62	0,0	0,0	0,0	99,9%
Out.	111,4	5,8	150,4	13,4	6,62	0,0	6,6	0,0	100,0%
Nov.	208,3	5,8	150,4	25,1	6,62	6,6	6,6	0,0	100,0%
Dez.	309,5	5,8	150,4	37,2	6,62	6,6	6,6	0,0	100,0%

ANEXO C - Planilha de dimensionamento Método da Iteração – Demanda C

Dados de entrada				Dados de saída					
Demanda mensal (m ³)		11,56		Volume potável anual necessário (m ³)		13,9			
Área de captação(m ²)		150,4		Volume da demanda anual atendida (m ³)		124,8			
Volume fixado para reservatório (m ³)		29,113856		Eficiência anual do sistema		0,90			
Meses	Chuva média mensal	Demanda constante mensal	Área de captação	Volume de chuva mensal	Volume fixado para o reservatório	S(t-1)	S(t)	Demanda externa necessária	Eficiência mensal do sistema
	mm	m ³	m ²	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	%
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	coluna 6	coluna 7	coluna 8	coluna 9	coluna 10
Jan.	295,3	11,56	150,4	35,5	29,11	0	24,0	0,0	100,0%
Fev.	195,7	11,56	150,4	23,5	29,11	24,0	29,1	0,0	100,0%
Mar.	212,6	11,56	150,4	25,6	29,11	29,1	29,1	0,0	100,0%
Abr.	91,1	11,56	150,4	11,0	29,11	29,1	28,5	0,0	100,0%
Mai.	39,9	11,56	150,4	4,8	29,11	28,5	21,8	0,0	100,0%
Jun.	17,3	11,56	150,4	2,1	29,11	21,8	12,3	0,0	100,0%
Jul.	10,2	11,56	150,4	1,2	29,11	12,3	1,9	0,0	100,0%
Ago.	12,9	11,56	150,4	1,6	29,11	1,9	-8,1	8,1	94,2%
Set.	47,8	11,56	150,4	5,8	29,11	0,0	-5,8	5,8	95,8%
Out.	111,4	11,56	150,4	13,4	29,11	0,0	1,8	0,0	100,0%
Nov.	208,3	11,56	150,4	25,1	29,11	1,8	15,3	0,0	100,0%
Dez.	309,5	11,56	150,4	37,2	29,11	15,3	29,1	0,0	100,0%

Fonte: Autor, 2018.

ANEXO D – Planilha de dimensionamento método Netuno- Demanda A

Resultado mensal da simulação										X
Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravasado (litros)	Atendimento completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)	Média diária de recalques		
Janeiro	11,82	147,78	1102,22	858,51	98,39	0,40	1,21	1,90		
Fevereiro	11,88	148,49	1101,51	691,20	98,99	0,00	1,01	1,95		
Março	12,00	149,96	1100,04	835,60	99,54	0,46	0,00	1,98		
Abril	11,56	144,52	1105,48	341,77	96,19	0,48	3,33	1,87		
Maió	8,04	100,52	1149,48	172,89	65,90	1,84	32,26	1,22		
Junho	6,96	87,05	1162,95	49,46	57,14	2,86	40,00	1,00		
Julho	3,72	46,48	1203,52	28,11	29,49	3,69	66,82	0,41		
Agosto	2,41	30,11	1219,89	49,88	18,89	2,30	78,80	0,30		
Setembro	6,70	83,69	1166,31	21,88	54,29	3,33	42,38	0,87		
Outubro	9,71	121,43	1128,57	306,83	79,72	2,30	17,97	1,47		
Novembro	12,00	150,00	1100,00	848,55	100,00	0,00	0,00	2,00		
Dezembro	12,00	150,00	1100,00	861,72	100,00	0,00	0,00	2,00		
Média	9,04	113,01	1136,99	421,16	74,97	1,47	23,56	1,42		
Total ano		41250	415000	153723						

Fonte: Netuno, 2018.

ANEXO E - Planilha de dimensionamento método Netuno- Demanda B

Resultado mensal da simulação									
Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravasado (litros)	Atendimento completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)	Média diária de recalques	
Janeiro	15,00	187,50	1062,50	803,53	100,00	0,00	0,00	2,84	
Fevereiro	15,00	187,50	1062,50	652,44	100,00	0,00	0,00	2,86	
Março	15,00	187,50	1062,50	797,96	100,00	0,00	0,00	2,86	
Abril	15,00	187,50	1062,50	315,73	100,00	0,00	0,00	2,84	
Maió	13,68	171,05	1078,95	126,60	90,32	1,38	8,29	2,31	
Junho	11,60	144,97	1105,03	28,31	76,19	1,90	21,90	1,87	
Julho	6,48	81,00	1169,00	11,50	41,94	2,76	55,30	0,89	
Agosto	3,98	49,76	1200,24	18,49	25,35	1,84	72,81	0,58	
Setembro	8,91	111,38	1138,62	0,00	58,10	2,38	39,52	1,37	
Outubro	12,51	156,38	1093,62	197,63	82,03	2,30	15,67	2,12	
Novembro	15,00	187,50	1062,50	795,16	100,00	0,00	0,00	2,85	
Dezembro	15,00	187,50	1062,50	826,94	100,00	0,00	0,00	2,86	
Média	12,24	152,96	1097,04	380,02	81,23	1,04	17,73	2,19	
Total ano		55832	400418	138706					

Fonte: Netuno, 2018.

ANEXO F - Planilha de dimensionamento método Netuno- Demanda B

Resultado mensal da simulação										X
Mês	Potencial de utilização de água pluvial (%)	Volume consumido de água pluvial (litros)	Volume consumido de água potável (litros)	Volume extravassado (litros)	Atendimento completo (%)	Atendimento parcial (%)	Sem atendimento (%)	Medida diária de recalques		
Janeiro	30,00	375,00	875,00	621,59	100,00	0,00	0,00	1,52		
Fevereiro	30,00	375,00	875,00	449,34	100,00	0,00	0,00	1,53		
Março	29,74	371,75	878,25	610,18	99,08	0,46	0,46	1,51		
Abril	29,25	365,65	884,35	198,66	97,14	0,48	2,38	1,49		
Mai	19,88	248,53	1001,47	58,42	64,98	3,23	31,80	0,91		
Junho	14,55	181,90	1068,10	4,48	47,14	4,76	48,10	0,62		
Julho	4,23	52,84	1197,16	0,00	11,98	3,69	84,33	0,17		
Agosto	5,78	72,26	1177,74	0,00	17,97	2,30	79,72	0,26		
Setembro	11,60	144,96	1105,04	0,00	34,76	7,62	57,62	0,46		
Outubro	21,06	263,26	986,74	69,82	67,74	4,61	27,65	0,96		
Novembro	30,00	375,00	875,00	529,40	100,00	0,00	0,00	1,54		
Dezembro	30,00	375,00	875,00	661,10	100,00	0,00	0,00	1,54		
Média	21,27	265,87	984,13	266,33	70,22	2,24	27,54	1,05		
Total ano		97043	359207	97212						