



Technical-economic feasibility of the use of rainwater for non-potable purposes in the classroom passage of the Federal University of Viçosa - Campus Rio Paranaíba

Ana Luiza Ferreira Costa¹, Lineker Max Goulart Coelho², Leandro Neto Junqueira³

^{1,2,3}Universidade Federal de Viçosa (UFV). Campus Rio Paranaíba (UFV-CRP). Rio Paranaíba - MG.

Email: analuiza.fc@hotmail.com, linekermail@gmail.com, leandrojunqueiraneo@gmail.com

ABSTRACT

Water is an essential resource for life and is present in the development of various human activities. However, this resource is becoming more scarce everyday due to misuse, population growth and pollution. Thereby, rainwater utilization appears as a promising alternative, as it reduces the consumption of clean water in situations where it is not needed, such as sanitary unloading, yards washing and irrigation of gardens, with environmental and economic advantages. Thus, this study aims to verify the technical and economic feasibility of a rainwater utilization system for non-potable use on the Pavilhão de Aulas da Universidade Federal de Viçosa – campus Rio Paranaíba. For this, the volume of preservation was calculated using the methods specified in the standard and appropriate to the campus reality because the reservoir is the most expensive component, its design is critical to the functioning of the whole system. The hydraulic design, and the geometry and structural calculation of the lower reservoir was defined and developed to obtain the steel and concrete consumption used. At the end, an economic feasibility analysis of this investment was made through estimates of cost of materials, labor and verification of the time for return. A considerable volume of reservoir of 534 m³ was obtained and economic viability was weakened due to the time for return of approximately 24 years. For comparison, the system efficiency was decreased by reducing the storage capacity of the reservoir to 316 m³ and then the economic analysis for this was made and provided a return period of 17 years, proving more attractive from an economic point of view.

Keywords: Rainwater utilization, Reservoir, Feasibility.

Estudo de viabilidade técnica-econômica do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no pavilhão de aulas da Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba

RESUMO

A água é um recurso essencial à vida e está presente no desenvolvimento das diversas atividades humanas. Entretanto, este recurso vem tornando-se cada dia mais escasso, devido a sua má utilização, aliada ao aumento demográfico e a poluição. Dessa forma, o aproveitamento de água pluvial se apresenta como uma alternativa promissora, visto que reduz o consumo de água potável em situações em que a mesma não é necessária, como descarga sanitária, lavagem de pátios e rega de jardins, apresentando vantagens ambientais e econômicas. Assim, o presente estudo tem por objetivo verificar a viabilidade técnica-econômica de um sistema de aproveitamento de água de chuva para uso não potável no Pavilhão de Aulas da Universidade Federal de Viçosa – campus Rio Paranaíba. Para isso, o volume de reservação foi calculado utilizando os métodos prescritos em norma e adequado à realidade do campus, pois, como o reservatório é o componente mais dispendioso, o seu correto dimensionamento é fundamental para o funcionamento de todo o sistema. Realizou-se o dimensionamento hidráulico, definiu-se e elaborou-se a geometria e o cálculo estrutural do reservatório inferior, visando obter os consumos de aço e concreto utilizados. Ao final, foi realizada uma análise de viabilidade econômica deste investimento, por meio de estimativas de custo de materiais, mão de obra e a verificação do tempo de retorno. Obteve-se um volume de reservatório considerável, de 534 m³, e a viabilidade econômica apresentou-se fragilizada em função do tempo de retorno ser de, aproximadamente, 24 anos. Para efeitos comparativos, diminuiu-se a eficiência do sistema, reduzindo a capacidade de armazenamento do reservatório, para 316 m³, em seguida, refez-se a análise econômica para este, que forneceu um tempo de retorno de 17 anos, se mostrando mais atraente do ponto de vista econômico.

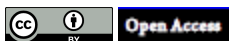
Palavras-chave: Aproveitamento de água de chuva, Reservatório, Viabilidade.

Received: March 18th, 2017

Accepted: April 17th, 2017

Published: June 30th, 2017

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



I. INTRODUÇÃO

Atualmente, a sociedade vem demonstrando uma grande preocupação em relação à conservação dos recursos naturais. Dentre estes, a água, que é um elemento vital e insubstituível na manutenção da vida, sendo também fundamental no desenvolvimento das atividades humanas, estando presente no uso doméstico, comercial, industrial, público e agrícola. A curva populacional crescente, a pressão por mais alimento e o uso ineficiente dos recursos hídricos, aliada ao crescimento econômico e das atividades produtivas, fez com que houvesse um aumento na demanda de água em todos os setores, ocasionando um problema quantitativo e qualitativo.

A consequência desses fatores é que ano após ano a água tem se tornado um recurso cada vez mais valioso e escasso [1]. Em 1958, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos que suporta esse conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior.” [2].

Portanto, as águas de qualidade inferior, como esgotos de origem doméstica, água de chuva, água de drenagem agrícola e água salobra, devem, sempre que possível, serem utilizadas como fontes alternativas para fins não potáveis. O consumo de água destinado aos usos não potáveis em uma residência varia de 30 a 40% do total de água consumida [3]. Dentre os fins não potáveis, pode-se citar descarga de vasos sanitários, torneiras de jardins, lavagem de roupas, limpeza de casas e automóveis. Logo essa parcela poderia ser atendida pela água pluvial, com o objetivo de conservar a água e gerar economia para o consumidor. Atualmente, a meta é encontrar práticas que aprimorem a gestão da água, como programas de conservação, baseados em medidas técnicas e em mudanças de comportamento, motivadas por incentivos que vão desde a educação ambiental até a regulamentação de leis e de estrutura tarifária [3].

Desta forma, vê-se a necessidade de utilizar novas técnicas de gestão e aproveitamento de água. Uma das soluções mais simples e bem aceitas é o aproveitamento de água de chuva, um recurso natural e amplamente disponível na maioria das regiões brasileiras. Esta solução tem potencial para adiar a construção de novas barragens, reduzir as exigências dos sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas pluviais, diminuindo, portanto, os impactos ao meio ambiente [4].

No ano de 2015 a Universidade Federal de Viçosa – *campus* Rio Paranaíba (UFV–CRP) contou com, aproximadamente, 1.900 pessoas circulando pelo campus diariamente, o que aumentou a demanda de água total e conseqüentemente o volume de água tratada utilizada para fins não potáveis no pavilhão de aulas (PVA). Por se tratar de uma instituição ligada à produção do conhecimento, entende-se que a Universidade Federal de Viçosa poderia adotar tecnologias que promovessem a redução de gastos no funcionamento de suas edificações, baseando-se na utilização consciente dos recursos naturais.

O presente trabalho teve o objetivo de analisar a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva para consumo não potável no PVA da UFV–CRP, estimar o volume ideal do reservatório de água pluvial, por meio de um estudo de compatibilização entre a disponibilidade da água de chuva e a demanda pela mesma e elaborar o dimensionamento estrutural do reservatório de armazenamento de água de chuva,

visando analisar a viabilidade econômica da implantação do sistema.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo desta pesquisa foi o Pavilhão de Aulas, que se encontra na Universidade Federal de Viçosa - campus de Rio Paranaíba, localizado na Rodovia MG-230, km 7 – Zona Rural, na cidade de Rio Paranaíba. Atualmente, a UFV-CRP oferece oito cursos de graduação e um de pós-graduação, recebendo 1.711 alunos e mais de 200 funcionários, segundo informações da própria UFV.

O pavilhão de aulas é destinado a todos os cursos. O prédio possui dois pavimentos, onde estão distribuídas 30 salas de aula, 6 banheiros, a lanchonete, a reprografia e os laboratórios de informática, totalizando, aproximadamente, 10.000 m² de área construída.

A demanda de água não potável no PVA foi resultado da soma dos percentuais de consumo da água em descargas sanitárias, limpeza geral do prédio e irrigação de jardins, conforme Eq. 1.

$$C_{\text{não potável}} = C_{\text{descarga}} + C_{\text{limpeza}} + C_{\text{irrigação}} \quad (1)$$

Para [5] apresenta seis métodos para o dimensionamento do reservatório de água de chuva. São eles: Método de Rippl, Método da Simulação, Método Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano. A intenção dos métodos de dimensionamento é compatibilizar o volume de reservação com a demanda, resultando em uma maior eficiência e redução de custos que podem inviabilizar a implantação do sistema. Portanto, a decisão tomada deve levar em conta fatores técnicos, econômicos e ambientais, além das boas práticas de engenharia.

Para a análise econômica, faz-se necessária a verificação dos custos de implantação, incluindo materiais, equipamentos e mão-de-obra, e a operação do sistema, que está relacionada ao custo de energia elétrica para o bombeamento da água. Contabilizou-se também a redução das despesas da UFV relacionadas ao abastecimento de água. Depois determinou-se o período de retorno do investimento, com o objetivo de verificar a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de água pluvial,

Para realizar o orçamento preliminar da construção do sistema considerou-se os preços dos materiais e serviços constantes na tabela da [6], para a região do Triângulo e Alto Paranaíba de junho de 2015. Para [7], o orçamento preliminar é uma avaliação de custo obtida através de estimativa de quantidades de materiais e de serviços e preços médios, efetuada na etapa do anteprojeto.

Para [8] esclarece que o orçamento preliminar deve incluir o Benefício e Despesas Indiretas (BDI), que caracteriza a margem adicionada para determinar o valor do orçamento. Alguns componentes do sistema pluvial já estão instalados no edifício e não foram incluídos na estimativa de custo de materiais, como calhas, condutores verticais e horizontais. Para outros itens, como moto-bomba, reservatórios elevados, filtro auto-limpante e reservatório enterrado são considerados os custos com materiais e mão-de-obra.

O BDI calculado é referente à construção de redes de abastecimento de água, coleta de esgoto e construções correlatas, conforme a planilha [5].

Os custos de operação do sistema incluem o consumo de energia elétrica gasto com bombeamento de água de chuva para o reservatório superior, que foi dado pela Equação 2.

$$\text{Custo}_{\text{energia elétrica}} = P_{\text{moto-bomba}} \times t \times N \times V_{\text{cemig}} \quad (2)$$

Onde: $\text{Custo}_{\text{energia elétrica}}$ = custo mensal de energia elétrica para o bombeamento do sistema (R\$/mês); $P_{\text{moto-bomba}}$ = potência da moto-bomba (kW); t = tempo de funcionamento da moto-bomba (h/dia); N = número de dias de funcionamento da moto-bomba no mês; V_{cemig} = valor cobrado pela CEMIG, pela energia consumida (R\$/kWh).

O custo mensal de energia elétrica gasto com bombeamento de água para o reservatório superior considerou uma bomba com potência de 0,756 kW, funcionando 5,85 horas por dia e 22 dias no mês, com vazão de 1,6 m³/hora. Além disso, leva em conta o valor cobrado pela CEMIG pela energia consumida, que é 0,35 R\$/kWh.

De acordo com informações fornecidas pela COPASA, verificou-se em qual categoria e faixa de consumo a UFV-CRP se enquadra, assim como o valor cobrado pelo m³ de água. Por meio da Equação 3 obtém-se o novo custo de água potável após a implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial.

$$\text{Custo}_{\text{água potável 2}} = C_{\text{mensal}} \times [1 - (P_{\text{economia}}/100)] * V_{\text{copasa}} \quad (3)$$

Sendo: $\text{Custo}_{\text{água potável 2}}$ = custo mensal de água potável após a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva (R\$/mês); C_{mensal} = consumo médio mensal de água no prédio (m³/mês); P_{economia} = potencial de economia de água potável obtido através do uso de água de chuva (%); V_{copasa} = valor cobrado pela COPASA pela água potável consumida (R\$/m³).

Para o cálculo do custo mensal de água potável propiciada após a implantação do sistema, segundo a Equação 3, utilizou-se a tarifa de água estabelecida pela COPASA para fornecimento de consumo público entre 100 e 300 m³, que é de 8,571 R\$/m³ e o volume de 273 m³ para consumo médio mensal de água no prédio.

Em seguida, foi calculada a diferença entre o custo mensal de água potável e o custo mensal após a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva, o que representa a economia em reais, relativa ao novo consumo de água, como apresentada na Equação 4.

$$E = \text{Custo}_{\text{potável 1}} - \text{Custo}_{\text{potável 2}} + \text{Custo}_{\text{energia elétrica}} \quad (4)$$

Onde: E = gastos evitados com o uso de água pluvial (R\$/mês); $\text{Custo}_{\text{potável 1}}$ = custo mensal de água potável antes da implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva (R\$/mês); $\text{Custo}_{\text{potável 2}}$ = custo mensal de água potável após a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva (R\$/mês); $\text{Custo}_{\text{energia elétrica}}$ = custo mensal de energia elétrica para o bombeamento do sistema (R\$/mês).

O tempo de retorno do investimento representa a relação entre o benefício obtido com o investimento e o valor investido no mesmo, fornecendo, em meses ou anos, o período necessário para se reaver o capital investido, como objetivo de avaliar a viabilidade econômica do sistema. Para isto, utilizou-se a Equação 5. O TRI basicamente é calculado dividindo-se os custos de implantação do sistema pelos gastos evitados anualmente.

$$\text{TRI} = C/B \quad (5)$$

Onde: TRI = tempo de retorno do investimento em anos; C = custo total de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva; B = gastos evitados anualmente com a adoção do sistema de aproveitamento de água de chuva, sendo obtido multiplicando-se o valor E por doze.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da soma dos percentuais de consumo de água nas atividades consideradas para fins não potáveis, conforme Equação 1, foi verificado que o percentual de água potável que poderia ser substituída, nos meses de maio a setembro, resultou em, aproximadamente, 75,5 % do volume total consumido, resultando em 206 m³/mês. Já nos outros meses o consumo não potável não inclui a irrigação de jardins, sendo composto apenas pelo consumo relativo a descarga e limpeza, somando 57,9%, o que representou 158 m³/mês. Por meio destas demandas mensais, analisou-se os diferentes métodos de cálculo do volume do reservatório, que estão compilados na Tabela 1.

Tabela 1: Cálculo do volume do reservatório utilizando os métodos da ABNT.

Método de cálculo	Volume do reservatório (m³)
Rippl	534
Simulação	534
Azevedo Netto	534
Prático Alemão	128
Prático Inglês	443
Prático Australiano	514

Fonte: [5].

Os métodos práticos apesar de fácil aplicação são os que apresentam maiores limitações, visto que adotam relações de simples proporcionalidade entre a precipitação e o volume do reservação, não avaliando o comportamento sazonal da precipitação. Sendo assim, foi adotado o volume de 534 m³ para o reservatório, garantindo que, em condições normais, o fornecimento de água pluvial não apresentará falhas.

Para isso foram utilizados dois reservatórios, um inferior enterrado e outro superior, localizado sobre a laje da cobertura. Neste caso, há necessidade de bombeamento da água para o reservatório superior, realizado por moto-bomba, já o reservatório superior abastece as instalações hidráulicas por gravidade. Foi adotado um volume de 532 m³ para o reservatório inferior e um volume de 2 m³ para o superior.

A análise econômica é apenas uma estimativa preliminar de custos e tempo de retorno de investimento, podendo servir como referência para outras instituições de ensino com padrões semelhantes ao da UFV-CRP, que pretendem implantar um sistema de aproveitamento de água de chuva.

O BDI obtido foi de 27,11%. O orçamento preliminar para o reservatório de 532 m³ apresentou um valor de R\$ 289.625,56, sem a adição do BDI, e que já inclui nos custos de cada serviço o material, a mão-de-obra, os encargos sociais e complementares. Após esse acréscimo, foi obtido o custo total de R\$ 368.143,05. A esse valor foi adicionado um acréscimo de 20% incluindo dessa maneira, o projeto e execução de fundação, assim como as instalações elétricas necessárias, resultando em R\$ 441.771,66.

Aplicando na Equação 2 os valores relativos ao consumo de energia citados na metodologia, foi obtido custo mensal de energia elétrica relativo ao bombeamento de água pluvial de 34,05 R\$/mês. Por meio da Equação 3 calculou-se o novo custo de água

potável após a implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial, que foi de 814,28 R\$/mês. Em seguida foi calculada a diferença entre o custo mensal de água potável atual e o custo mensal após a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva, por meio da Eq. 4, o que representou a economia de 1.491,83 R\$/mês, relativa ao novo consumo de água.

O tempo de retorno foi calculado pela Equação 5, que resultou em 296 meses, aproximadamente, 24 anos. Foi considerado o horizonte de projeto como o tempo de vida útil da estrutura de concreto, que é de 50 anos, uma vez que, a demanda do PVA não vai variar muito, pois o prédio já é quase plenamente utilizado o tempo de retorno do investimento é muito alto. Com o intuito comparativo para o tempo de retorno do investimento, calculou-se a confiança do sistema de aproveitamento de água pluvial para diferentes volumes, utilizando o método australiano, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Diferentes volumes de reservação.

Volume do reservatório (m³)	Número de meses com falha	Confiança (%)	Redução de volume em relação ao reservatório ideal de 534 m³ (%)
172	3	75	67,8
316	2	83,3	40,8
400	2	83,3	25,1
514	1	91,7	3,7
534	0	100	0

Fonte: Autores, (2016).

Apesar de não atender a eficiência mínima recomendada, que é de no mínimo 90%, foi analisado o reservatório de 316 m³, para compará-lo com o reservatório ideal de 534 m³, verificando, dessa forma, a viabilidade de implantação do sistema. Ao utilizar o reservatório de 316 m³ fez-se uma redução de 40,8 % no volume inicialmente adotado e a redução na eficiência foi de apenas 16,7 %.

Para este reservatório, o volume total de aço foi de 532 m³ foi de, aproximadamente, 29.289,05 kg, o que representa uma taxa de 40,36 kg de aço por m³ de reservatório, foi considerado o volume externo total é de 725,65 m³. A taxa de 40,36kg/m³ foi utilizada para o cálculo do consumo de aço para o reservatório de 316 m³, como a altura de ambos é a mesma, globalmente as armaduras seriam próximas, no entanto, destaca-se que este cálculo é apenas para efeito de comparação de viabilidade econômica entre os dois volumes de reservação.

O reservatório de 316 m³ foi calculado a favor da segurança, uma vez que, reservatórios menores geram taxas de armaduras menores devido aos menores vãos das paredes. Para este reservatório, o volume total externo calculado foi de 442,93 m³, logo tem-se que o consumo de aço foi de 17.876,57 kg. O consumo total de concreto é de, aproximadamente, 70 m³.

O orçamento preliminar para o volume de 316 m³ apresenta um valor de R\$ 202.942,77, sem a adição do BDI, e que já incluiu nos custos de cada serviço o material, a mão-de-obra, os encargos sociais e complementares. Após esse acréscimo, foi obtido o custo total de R\$ 257.960,55. A esse valor foi adicionado um acréscimo de 20% incluindo dessa maneira, o projeto e execução de fundação, assim como as instalações elétricas necessárias, resultando em R\$ 309.552,67. O tempo de retorno foi calculado pela Equação 5 e utilizou o valor da economia mensal, dado por 1.491,83 R\$/mês, sendo assim, o tempo de retorno do investimento resultou em 200 meses, aproximadamente, 17 anos.

Observa-se que o maior volume obtido, o que conseqüentemente apresenta a maior eficiência para o sistema (100%), refere-se ao reservatório de 534 m³.

Já o menor volume, de 316 m³, o qual apresenta uma eficiência de 83,3%, é mais interessante do ponto de vista econômico, visto que reduz, aproximadamente, 216 m³ no volume do reservatório maior, apresentando uma variação na eficiência de apenas 16,7%. Porém, o reservatório menor apresentou 2 meses de falha durante o ano, sendo necessário a reposição do reservatório com água potável, mas ainda assim se mostra atrativo, uma vez que diminui o tempo de retorno do investimento em 7 anos, o que representa uma economia de R\$132.218,93.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizado o estudo de viabilidade técnica-econômica do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no pavilhão de aulas da Universidade Federal de Viçosa, campus Rio Paranaíba. Para efeitos comparativos, foram analisados dois reservatórios, um maior, com capacidade para 532 m³ de água e outro menor, com volume útil de 316 m³. Para o primeiro obteve-se um custo aproximado de R\$ 441.771,66, o que representa um tempo de retorno longo, de 24 anos, porém, este reservatório atenderia a demanda com eficiência, não havendo, supostamente, falhas no abastecimento de água não potável. Já o segundo reservatório, gerou um custo de, aproximadamente, R\$ 309.552,67 e 17 anos de tempo de retorno do investimento, entretanto, este reservatório possui uma eficiência 16,7 % menor que o primeiro, possibilitando 2 meses de falhas com o abastecimento pluvial.

Ainda assim, o reservatório com capacidade para 316 m³ seria mais viável economicamente. Após a realização de todas as etapas deste estudo e discussão dos resultados obtidos, técnica e economicamente, fica determinada a viabilidade da implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva no pavilhão de aulas da UFV-CRP. Porém, antes da construção deste sistema é necessário que as questões técnicas e econômicas sejam estudadas de forma mais minuciosa e complexa, além de realizar estudo sobre os impactos social e ambiental que a implantação do projeto pode gerar, temas recomendados para futuros trabalhos.

Por fim, evidencia-se a importância do surgimento de iniciativas privadas e governamentais, com leis e financiamentos, que viabilizem e estimulem amplamente o emprego deste tipo de sistema, tornando os custos menos onerosos, não somente no setor público, mas também no setor industrial, agrícola, comercial e residencial.

V. REFERÊNCIAS

- [1] Alt, R. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**: estudo baseado no curso ABNT de 11/02/2009 SP/SP do Engenheiro Plínio Tomaz. 2009.
- [2] Mancuso, P. C. S. e Santos, H. F. dos. **Reuso de Água**. 2 ed. Editora Manole, Barueri, 2003.
- [3] Tomaz, P. **Aproveitamento de Água de Chuva**: Para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis. Editora Navegar. São Paulo, 2003.
- [4] Bertolo, E. de J. P. **Aproveitamento da água da chuva em edificações**. Dissertação de Mestrado, Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, 2006.

[5] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527. **Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

[6] Sampaio, F. M. **Orçamento e custo da construção**. Editora Hemus. Brasília, 1989.

[7] SETOP – Secretaria de Estado de Transportes e Obras Públicas. **Planilha Referencial de Preços Unitários para obras de edificação e infraestrutura**. Disponível em:< http://www.setop.mg.gov.br/images/documentos/precosetop/prec_o_setop_triangulo.pdf>. Acesso em: 10 nov 2015.

[8] Tisaka, M. **Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução**. 2 ed. Editora Pini. São Paulo, 2011.