2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL DURANTE A FASE DE USO: ESTUDO DE CASO EM UMA ESCOLA[1]

GERALDI, Matheus S. (1); CUREAU, Roberta J. (2); BAVARESCO, Mateus V. (3); GHISI, Enedir (4)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, matheus.geraldi@posgrad.ufsc.br,
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, robertacureau@gmail.com,
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, mateus.bavaresco@posgrad.ufsc.br,
(4) Universidade Federal de Santa Catarina, enedir.ghisi@ufsc.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma edificação escolar. Foram comparados os consumos de água potável de um ano antes e um ano depois da implantação do sistema. Além disso, o sistema implantado foi simulado utilizando o programa Netuno considerando os dados pluviométricos do ano de análise para se verificar o desempenho do sistema durante aquele ano. Os resultados mostraram que a economia de água potável foi de 28,9% da demanda total, enquanto o potencial estimado em projeto foi de 2,7%. Por fim, uma análise financeira foi realizada considerando o custo real do sistema e as taxas de juros e inflação reais do ano no qual o sistema foi implantado. O período de retorno do investimento foi de 24 meses e a taxa interna de retorno foi de 9,39% ao mês. Concluiu-se que o sistema apresentou uma economia de água potável maior do que o previsto em projeto, e o investimento foi considerado financeiramente viável.

Palavras-chave: *Aproveitamento de água pluvial, Simulação computacional, confiabilidade, Análise financeira.*

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the performance of a rainwater harvesting system in a school. The water consumptions of one year before and after the installation of the system were compared on a monthly basis. The actual installed system was simulated using the software Netuno considering the rainfall data from the year of operation in order to verify the performance of the system. Results showed that the actual potential for potable water savings is 28.9%, while such a potential was predicted to be 2.7%. Finally, a financial analysis was performed considering the actual cost of the system as well as the interest rate and inflation

---

[1] GERALDI, Matheus S.; CUREAU, Roberta J.; BAVARESCO, Mateus V.; GHISI, Enedir. Sistemas de aproveitamento de água pluvial durante a fase de uso: estudo de caso em uma escola. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

over the year of operation considered. The payback period was 24 months and the internal rate of return was 9.39% per month. Therefore, the system presented water savings higher than predicted in the design stage and it was considered financially feasible.

***Keywords**: Rainwater harvesting, Computational simulation, Reliability, Financial analysis.*

1 INTRODUÇÃO

Uma parcela significativa da água é destinada às edificações, sendo que no Brasil este consumo representa aproximadamente 8,8% do uso total de água tratada, cerca de 100 m³/s (BRASIL, 2018). Nas últimas duas décadas, houve um crescimento de 80% no consumo de água pelas edificações, e prevê-se acréscimo de 30% até 2030 (BRASIL, 2018). Devido à estreita relação do consumo de água com o crescimento econômico, é importante pensar em formas alternativas de otimizar o uso deste bem.

Dessa forma, a adoção de alternativas que reduzam o consumo de água tratada é importante para promover a sustentabilidade. O aproveitamento de água pluvial é uma estratégia eficiente para substituir a parcela do consumo de água que não necessita de potabilidade, uma vez que faz uso de recursos disponíveis diretamente no local de utilização (GHISI, 2017). Mas para que essa estratégia seja adotada, é preciso que o investimento para implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial seja viável financeiramente. O custo de implantação é o mais expressivo na avaliação de viabilidade (GHISI, 2010). Além disso, o reservatório é o componente mais significativo do custo de implantação (THIESEN; GERALDI; KAESTNER, 2017). Neste sentido, o dimensionamento do reservatório é o principal alvo de estudos, avaliando-se os diferentes métodos de dimensionamento (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011; SANTOS; TAVEIRA-PINTO, 2013; WARD; MEMON; BUTLER, 2010), e diferentes propósitos de uso da água (CAMPISANO *et al.*, 2014; RAHMAN; KEANE; IMTEAZ, 2012; WILLIS *et al.*, 2011). O dimensionamento do reservatório também varia devido à parcela do consumo que será substituída por água pluvial (SOUZA; GHISI, 2012) e devido à pluviosidade da região (GERALDI; GHISI, 2018). Alguns estudos buscam avaliar o desempenho real de sistemas de aproveitamento de água pluvial. Ward, Menon e Butler (2012) avaliaram o desempenho de uma edificação comercial no Reino Unido considerando o percentual entre a economia de água estimada e a medida. Os autores apontaram que o sistema teve eficiência de 87% em 8 meses de monitoramento e período de retorno de 11 anos. Porém, o reservatório quase nunca ficou totalmente cheio, indicando-se um caso de superdimensionamento. Caso fosse utilizado um reservatório mais adequado, o período de retorno seria próximo de 6 anos, considerando a mesma eficiência.

Outro caso que pode ocorrer no desempenho real é o subdimensionamento, como no estudo de Jones e Hunt (2010), que avaliaram 2081 barris e cisternas em três cidades nos Estados Unidos. Neste estudo, foi feita a comparação entre os sistemas dimensionados por simulação e dados monitorados por um ano. Concluiu-se que os sistemas por barris foram subdimensionados em quase todos os casos, pois apresentaram transbordamento na maioria dos eventos de chuva e não atendimento total da demanda. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de um sistema de aproveitamento de água pluvial durante a fase de uso em uma edificação escolar, por meio de um estudo de caso. Uma análise financeira também foi realizada com base no custo real do sistema.

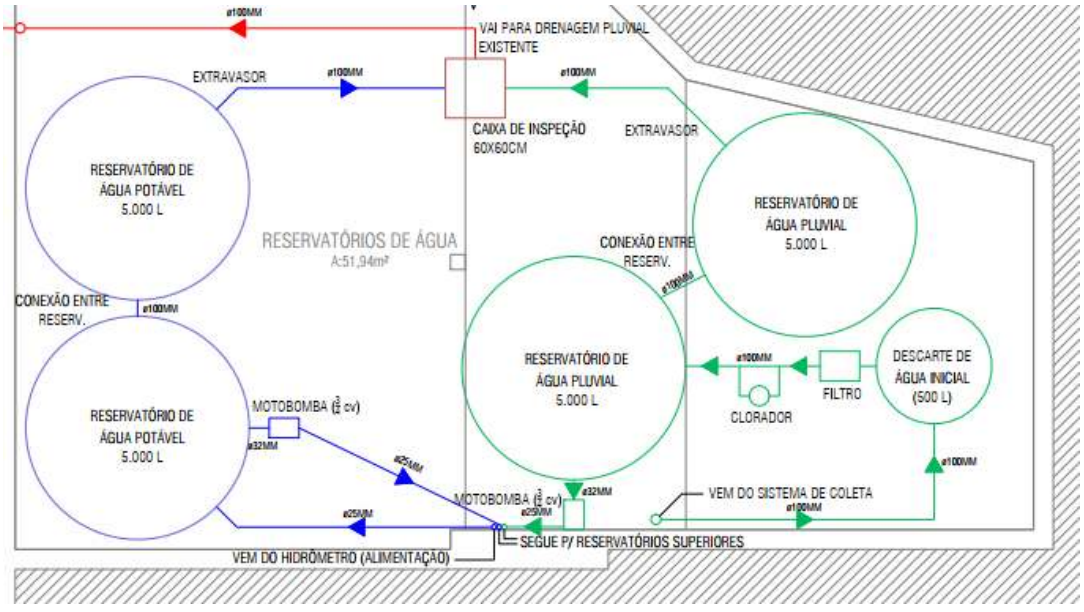
2 MÉTODO

O desenvolvimento deste trabalho ocorreu por meio da análise de um estudo de caso da implantação de sistema de aproveitamento de água pluvial em uma edificação escolar. A escola é da rede privada localizada no bairro Forquilhinhas, São José, SC. A administração da escola não permitiu a divulgação do seu nome, apenas de suas características. A escola possui 1.343,86 m² de área construída, três pavimentos e paredes em alvenaria.

A escola foi reformada nos meses finais de 2017 e em 2018 reiniciou as atividades normalmente. Na reforma foi incluído um sistema de aproveitamento de água pluvial para utilização na descarga das bacias sanitárias e mictórios.

Durante a fase de reforma, o sistema foi dimensionado utilizando o programa Netuno, e considerando a NBR 15527 (ABNT, 2019), de acordo com a área e ocupação da edificação. O volume do reservatório de água pluvial ideal foi 9.000 L, o qual proporcionaria potencial de economia de água potável de 2,7% da demanda total. Com base nas recomendações da Prefeitura de Florianópolis, como exigências de projeto, foram considerados 50 L/hab.dia como demanda total de água potável e demanda de água pluvial igual a 12% da demanda total, com base nas recomendações da Prefeitura de Florianópolis, como exigência de projeto. Exigiu-se que a ocupação fosse baseada na área da escola, resultando em 408 pessoas. Foram adotados dois reservatórios de 5.000 L e um reservatório superior de 1.000 L. Além disso, os proprietários decidiram implantar um volume de reserva igual para água potável de forma a garantir o abastecimento da edificação, uma vez que a região sofre com racionamento frequente de água. A Figura 1 apresenta o detalhe do projeto e a Figura 2, o registro fotográfico do sistema implantado.

Figura 1 – Detalhe do projeto de concepção das cisternas da escola.



Fonte: Fornecido pela administração da escola.

Figura 2 – Registro fotográfico do sistema após implantação.


(a) Reservatório


(b) Filtro


(c) Clorador


(d) Motobomba

Fonte: Fornecido pela administração da escola.

2.1 Comparativo entre consumo antes e depois da reforma

Inicialmente comparou-se o consumo de água potável do período de um ano antes da instalação do sistema com o consumo de água potável de igual período depois da instalação do sistema. Foi considerado o ano de 2016 como base de comparação pré-instalação do sistema de aproveitamento e 2018 como ano base de comparação pós-implantação. Não foi considerado o ano de 2017, pois a reforma tornou o ano atípico em termos de ocupação e consumo de água.

A ocupação foi considerada conforme o registro oficial de matrículas e funcionários obtidos na plataforma QEdu (MEC, 2018), cujos valores foram confirmados pela administração da escola. Em 2016 a escola tinha 318 alunos e 47 funcionários, totalizando 365 pessoas. Em 2018, havia 331 alunos e 45 funcionários, totalizando 376 pessoas. O volume de água consumido antes e depois da reforma foi fornecido pela própria administração da escola, por meio das faturas de água.

Além da comparação mês a mês do consumo em si, foram comparados o total de consumo *per capita* diário, o consumo *per capita* médio mensal e o desvio padrão. De forma a analisar a variação do consumo mês a mês, foi calculado o índice de sazonalidade (SUMMER, 1988) do consumo *per capita* mensal.

2.2 Comparativo do desempenho real e do desempenho previsto em projeto

Durante a reforma da escola, o dimensionamento do sistema de aproveitamento de água pluvial foi feito por meio do programa computacional Netuno, utilizando dados de precipitação diária para o período de 2002 a 2011, obtidos da estação mais próxima da escola (estação 02748006), disponíveis no Portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2020).

Para estimar o desempenho real do sistema, o sistema instalado foi simulado novamente no Netuno utilizando os mesmos parâmetros da simulação de projeto e o volume adotado. Além do volume de reservatório inferior de 10.000 L e superior de 1.000 L, foram considerados na simulação o descarte inicial de 2 mm, coeficiente de escoamento superficial de 0,8, área de captação de 477,08 m² e informações de demanda com base no volume de água consumido em 2016 (média diária de 13,0 L/pessoa.dia, apenas nos dias úteis). Além disso, foram usados dados diários de precipitação para o ano de 2018, medidos na mesma estação meteorológica. Nesta simulação para avaliação do desempenho, foram considerados dois casos de demanda de água pluvial. No Caso A, foi considerada demanda de água pluvial de 12% da demanda total de água para corresponder ao valor utilizado em projeto. No caso B, considerou-se 70% da demanda total, o que seria o máximo aproveitamento do sistema com base em estudos que avaliaram aproveitamento de água pluvial em edificações escolares (THIESEN; GERALDI; KAESTNER, 2017). Os resultados das simulações com os dados do sistema instalado e com as demandas

de água pluvial dos casos A e B (12% e 70%, respectivamente) foram comparados com o potencial de economia de 2,7% apresentado no projeto.

2.3 Análise financeira

De posse das informações do projeto, o custo de implantação e o valor de economia de água que a escola está obtendo com o sistema, é possível realizar uma análise financeira para conhecer a viabilidade do sistema. A Tabela 1 apresenta os componentes do sistema e seus respectivos custos, com data base de 2017.

Tabela 1 – Características do sistema.

Componente	**Custo (R$)**	**Fração do total (%)**
Reservatório (2x 5000 L)	4.028,04	50,47
Filtro, Multi-sifão, Boia-mangueira, Clorador, Retroalimentador, Extravasor, Boia de nível, Dispositivo de descarte inicial e acessórios*	2.506,83	31,41
Motobomba e acessórios	1.446,00	18,12
Total	**7.980,87**	**100,00**

* valor de mão-de-obra de instalação incluso no custo com equipamentos.

Fonte: Fornecido pela administração da escola.

A análise financeira foi realizada por meio de cálculo de período de retorno descontado (*payback*) e valor presente líquido (VPL), considerando inflação de 3,75% ao ano (IPCA de 2018), e taxa mínima de atratividade (TMA) de 6,5% ao ano (SELIC de 2018). O cálculo foi feito com ajuda do programa Netuno, utilizando o modelo de simulação do caso B (demanda de água pluvial igual a 70%), para também considerar o acionamento da motobomba, com custo de 0,4322 reais por kWh (CELESC, 2018), e características do modelo da bomba Schneider BCR2010 3/4.

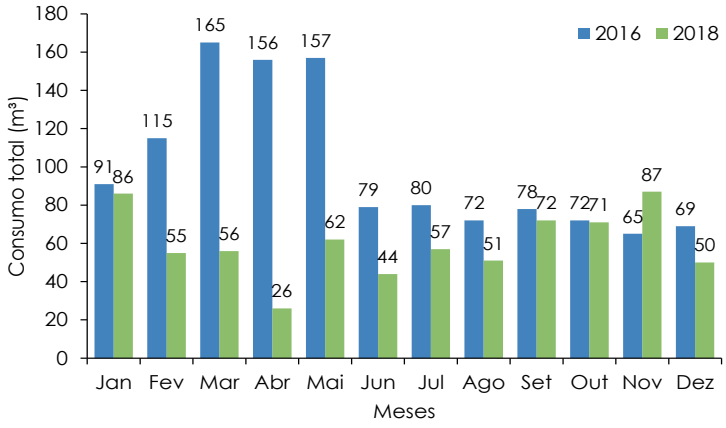
O custo da água foi considerado conforme os preços da concessionária em 2018 para edificações comerciais (CASAN, 2018), sendo de 65 reais até 10m³, 10,7866 reais por m³ de 11 a 50 m³ e 13,5688 reais para cada m³ acima de 50m³. Foi também considerado um custo para manutenção (cloração e limpeza) de 150 reais ao ano.

3 RESULTADOS

3.1. Comparativo entre consumo antes e depois da reforma

A Figura 3 apresenta a comparação do consumo antes e depois da instalação do sistema na edificação em estudo. É possível perceber uma clara redução no consumo de água potável no ano de 2018 em relação a 2016. A redução é pouco expressiva em janeiro, mas se torna muito expressiva entre fevereiro e junho, período em que há aumento no consumo de água devido à estação de verão. Concomitantemente, este período também é o que apresenta maior incidência de chuvas. A redução do consumo *per capita* diário é significativa, de 13,0 para 7,6 L/pessoa.dia. Ressalta-se que o consumo per capita mensal apresentado na Figura 3 considera apenas os dias úteis, uma vez que a escola não funciona aos finais de semana. Os picos de consumo observados em março, abril e maio são relevantes e podem ter ocorrido por diversos motivos, como vazamentos ou compensações de leitura em meses anteriores. Porém, nenhuma explicação foi fornecida pela administração escola.

Figura 3 – (a) Consumo de água potável ao longo dos anos de 2016 e 2018, e (b) resumo das características de consumo.



(a)

Característica	2016	2018
Ocupação (pessoas):	365,0	376,0
Consumo total (m³/ano):	1199	717
Consumo per capita diário (L/pessoa.dia):	13,0	7,6
Consumo per capita mensal (L/pessoa.mês)	273,7	158,1
Desvio Padrão mensal (L/pessoa.mês):	104,5	46,2
Sazonalidade (adimensional):	3,9	2,6

(b)

Fonte: Autores.

A variabilidade entre meses também sofreu mudança significativa. No ano de 2016, o consumo teve uma amplitude grande, representada pelo desvio padrão mensal de 104,5 L/pessoa. O sistema de aproveitamento de água pluvial permitiu que o consumo mensal em 2018 tivesse menos variação em relação à média, resultando em um desvio-padrão de 46,2 L/pessoa. O índice de sazonalidade reforça esse resultado, diminuindo de 3,9 para 2,6.

Em suma, levando-se em consideração que a ocupação é muito semelhante nos anos analisados, houve uma diferença de 482 m³ (40% de redução). Atribuir toda essa redução ao desempenho do sistema pode levar a conclusões enviesadas. Por isso, foi realizada uma simulação utilizando os parâmetros reais do sistema e os dados pluviométricos do ano de análise para verificar qual parcela dessa redução pode ser atribuída ao aproveitamento de água pluvial.

3.2 Comparativo entre o desempenho real e o previsto em projeto

A Tabela 2 apresenta os resultados das simulações do desempenho do sistema para os dois casos de demandas de água pluvial testados. Para o caso A, o potencial de economia de água potável foi de 11,7%, resultado maior do que os 2,7% obtidos durante a elaboração do projeto. Essa diferença se deve às diferentes demandas de água potável adotadas no projeto (50 L/pessoa.dia, valor recomendado pela prefeitura) e observadas durante a avaliação do desempenho (13,0 L/pessoa.dia, consumo real antes da implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial). Para o caso B, o potencial de economia de água potável obtido foi 28,3%. Isso significa que o sistema instalado pode proporcionar economia de água até dez vezes maior do que a indicada no projeto, caso a demanda de água não potável seja maior do que a prevista. Este resultado fundamenta o argumento de que o dimensionamento de sistemas em casos como esse (reformas) deve ser feito com base em informações de consumo reais.

Na avaliação de atendimento à demanda, o caso A atenderia completamente a demanda de água pluvial em 69,6% dos dias do ano. Para o caso B, esse valor diminui para 20,6%. A demanda de água pluvial maior resulta em um maior potencial de economia, mas aumenta o número de dias em que ela não é atendida. Contudo, o volume de água pluvial coletado e extravasado para o caso

B é a metade daquele do caso A.

Tabela 2 – Resultados das simulações para o sistema implantado na escola

Parâmetro	**Caso A**	**Caso B**
Demanda total de água (L/pessoa.dia)	13,0	13,0
Demanda de água pluvial (% da demanda total)	12	70
Potencial de economia de água potável (%)	11,7	28,3
Volume de água extravasado (L/dia)	1.062,0	505,2
Dias com atendimento total da demanda de água pluvial (%)	69,6	20,6
Dias com atendimento parcial da demanda de água pluvial (%)	0,0	17,5
Dias em que a demanda de água pluvial não é atendida (%)	30,4	61,9

Fonte: Autores.

Vale ressaltar que os banheiros foram reformados e ampliados: de 4 para 8 bacias sanitárias no banheiro feminino, de 3 para 6 bacias sanitárias no masculino e de 2 para 6 mictórios. Apesar de ampliada a quantidade de pontos de consumo, foram instalados aparelhos economizadores de água. A influência dessa substituição e da ampliação é um ponto de pesquisa que pode ser explorado no futuro.

3.3 Análise financeira

A análise financeira, feita com o programa Netuno para o caso B, resultou em VPL de R$ 12.681,03 ao longo de 30 meses, período de retorno (*payback* descontado) de 24 meses, e TIR de 9,39% ao mês. Como a TIR obtida foi maior do que a TMA (6,5 % ao mês), o investimento é considerado atrativo.

4 CONCLUSÕES

A comparação do consumo antes e depois da implantação do sistema revelou que houve significativa redução do consumo de água potável e diminuição de variação entre os meses. O sistema implementado na escola foi simulado utilizando o programa Netuno, com os dados pluviométricos pós-implantação e de consumo pré-instalação do sistema, e verificou-se que o sistema proporciona economia de 28,3% do consumo de água potável. A análise financeira — utilizando a mesma simulação, informações de custos reais do sistema e dados financeiros de 2018 — mostrou que o período de retorno é de dois anos e o investimento foi considerado atrativo devido à TIR ser maior do que a TMA.

Portanto, é possível concluir que o sistema alcançou economia de água potável maior do que a prevista em projeto. No entanto, apesar da diferença de consumo entre os anos analisados ser de 40%, a verificação com a simulação utilizando as informações do sistema implantado e dados de pluviometria do período de análise revelou que se pode atribuir 28,3% de redução ao desempenho do sistema. Evidentemente, há variações inerentes da natureza estocástica do estudo de caso. De qualquer forma, o investimento realizado foi considerado atrativo, o que torna os resultados obtidos com a implantação desse sistema favoráveis sob os aspectos ambiental e econômico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPq pelas bolsas de estudo que permitiram desenvolver este trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15527:2019. **Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis — Requisitos**. 2019.

ANA. **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA. Portal HidroWeb.** Disponível em: < http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas >. Acesso em: 02 jun. 2020.: 2020.

BRASIL, (National Water Agency). **Brazilian Water Resources Report**. *2018*.

CAMPISANO, A. *et al.* Potential for peak flow reduction by rainwater harvesting tanks. *In*: 2014, **Procedia Engineering**. *2014*.

CASAN. **Tabela Tarifária 2018**. Disponível em: https://www.casan.com.br/ckfinder/userfiles/files/Documentos_Download/publica%C3%A7%C3%A3o%20Tabela%20Tarif%C3%A1ria%202018.pdf. Acesso em 08/06/2020. 2018.

CELESC. **Tarifas de consumo de energia**. Disponível em: https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia#tarifas-vigentes. Acesso em 08/06/2020. 2018.

GHISI, Enedir. Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. **Water Resources Management**, v. 24, n. 10, p. 2381–2403, 2010.

GHISI, Enedir. **Frontiers in Civil Engineering - Volume 2 - Water Savings in Buildings**. Bentham Science, 2017. *E-book*.

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

MEC. **Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais (Inep). Censo da Educação Superior: Sinopse Estatística**. Disponível em:< http://www.inep.gov.br/>. 2018.

RAHMAN, Ataur; KEANE, Joseph; IMTEAZ, Monzur Alam. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 61, p. 16–21, 2012.

RUPP, Ricardo Forgiarini; MUNARIM, Ulisses; GHISI, Enedir. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. Ambiente Construído. v.11, n. 4, p. 47–64, 2011.

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

GERALDI, Matheus; GHISI, Enedir. Assessment of the length of rainfall time series for rainwater harvesting in buildings. **Resources, Conservation and Recycling**,v.133, p.231–241, 2018.

SOUZA, Eduardo Leite; GHISI, Enedir. Potable water savings by using rainwater for non-potable uses in houses. **Water (Switzerland)**, v. 4, n. 3, p. 607–628, 2012.

SUMMER, G. **Precipitation: process and analysis**. Chichester. 1988. *E-book*.

THIESEN, Stephanie; GERALDI, Matheus Soares; KAESTNER, Camile Luana. Simulador online para dimensionamento otimizado de reservatório de água da chuva associado à economia financeira. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 1–8, 2017.

WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Rainwater harvesting: Model-based design evaluation. **Water Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 85–96, 2010.

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

WILLIS, Rachelle M. *et al.* Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 8, p. 1996–2009, 2011.