APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA E REÚSO DE ÁGUA CINZA EM RESIDÊNCIAS: REDUÇÕES NO CONSUMO DE ÁGUA POTÁVEL NO DISTRITO FEDERAL

Residential rainwater harvesting and greywater reuse: reductions in potable water consumption in the Federal District, Brazil

Sant'Ana, Daniel[1]; Santana, Livia Ferreira[2]

[1] Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Brasília-DF, Brasil, dsantana@unb.br.
[2] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Anápolis-GO, Brasil, livia.santana@ifg.edu.br.

RESUMO

O estudo analisa o potencial de redução do consumo de água potável por meio da adoção de sistemas de aproveitamento de água de chuva (AAC) e reúso de água cinza (RAC) em edificações residenciais do Distrito Federal. Foram realizadas simulações baseadas em modelos representativos de consumo de água de diferentes faixas de renda familiar para estimar o potencial de redução da demanda por água potável. Os resultados indicam, para os cenários estudados, que residências de renda alta alcançaram economias de até 229 m³/residência/ano com o aproveitamento de água de chuva e 164 m³/residência/ano com o reúso de água cinza. Em edificações multifamiliares, o aproveitamento de água de chuva mostrou-se viável apenas para usos externos da área comum, como lavagem de pisos e irrigação. O estudo destaca a relevância da implantação de sistemas AAC e RAC como estratégia para a gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em contextos de escassez e pressões sobre os sistemas de abastecimento centralizado. Além disso, evidencia a importância de considerar as características socioeconômicas e tipológicas das edificações na definição de soluções descentralizadas, de modo a ampliar a eficiência e a viabilidade dessas tecnologias.

Palavras-chave: Aproveitamento de água de chuva; Reúso de água cinza; Edificações residenciais; Redução do consumo de água potável.

ABSTRACT

The study analyzes the potential for reducing potable water consumption by adopting rainwater harvesting (RWH) and grey water reuse (GWR) systems in residential buildings in the Federal District. Simulations based on representative water consumption models for different household income levels were carried out to estimate their potential for reducing potable water demand. Results indicate that, for the scenarios studied, high-income households can achieve savings of up to 229 m³/household/year by using rainwater and 164 m³/household/year by reusing gray water. In multi-family buildings, the use of rainwater proved to be viable only for external uses in common areas, such as washing floors and irrigation. The study highlights the importance of implementing RWH and GWR systems as a strategy for the sustainable management of water resources, especially in contexts of scarcity and pressure on centralized supply systems. It also highlights the importance of considering the socio-economic and typological characteristics of buildings when defining decentralized solutions, in order to increase the efficiency and viability of these technologies.

Keywords: *Rainwater harvesting; Greywater reuse; Residential buildings; Potable water consumption reduction.*

1 INTRODUÇÃO

Sistemas prediais de água não potável apresentam um potencial significativo para a redução da demanda por água potável em edificações, além de contribuírem para a mitigação de impactos ambientais (BILLINGS; JONES, 2008). A avaliação de sistemas de aproveitamento de água de chuva (AAC) e de reúso de água cinza (RAC) em edificações, tem se concentrado principalmente em aspectos técnicos, sociais e financeiros (GÓMEZ-MONSALVE *et al*., 2022). Estudos internacionais vêm apontando resultados promissores quanto à efetividade

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.8201

ambiental desses sistemas em comparação aos modelos convencionais de abastecimento centralizado (*i.e.* STEFFEN *et al.*, 2013; OVIEDO-OCAÑA *et al*., 2017; AZABACHE *et al*., 2020). No Brasil, diferentes trabalhos vêm sendo realizados para a análise do potencial de redução do consumo de água potável pela utilização de fontes alternativas de água não potável em edificações residenciais (*i.e.* HAMMES *et al*. 2020; MAYKOT; GHISI, 2020; PACHECO; ALVES, 2023; SOUTO *et al*., 2023). Porém, características edilícias e renda familiar podem afetar o desempenho de sistemas prediais de água não potável. No Distrito Federal, pesquisas limitaram-se a analisar as economias geradas por sistemas prediais de água não potável em uma casa (SANT'ANA, 2006) e prédios de apartamento (SANT'ANA, 2012; SANT'ANA *et al.,* 2013) de Brasília. Este estudo teve como objetivo analisar o potencial de redução do consumo de água potável por meio da adoção de sistemas de AAC e de RAC em residências de diferentes tipologias e faixas de renda do Distrito Federal.

2 MÉTODO

Em um estudo prévio, Sant'Ana e Mazzega (2018) analisaram a relação entre tipologia residencial, renda familiar e consumo de água para 481 residências de diferentes regiões administrativas do Distrito Federal. A partir de 118 auditorias hidráulicas, o estudo apresentou indicadores de usos-finais de água para as distintas faixas de renda. Com base nas características tipológicas (Quadro 1) e de usos-finais de água (Tabela 1) definidos no estudo anterior, o presente trabalho empregou quatro modelos representativos para analisar o potencial de redução do consumo de água potável por meio da adoção de sistemas de AAC e de RAC em residências de renda alta, média-alta, média-baixa e baixa do Distrito Federal.

Tabela 1 – Usos finais de água por faixa de renda

USOS FINAIS DE ÁGUA	FAIXA DE RENDA							
	Alta		Média-alta		Média-baixa		Baixa	
Ambientes internos	**L/p/d**	**%**	**L/p/d**	**%**	**L/p/d**	**%**	**L/p/d**	**%**
Lavatório	18	8,1	21	9,5	10	7,1	13	10,9
Chuveiro	36	15,9	53	23,9	33	23,0	28	23,7
Bacia Sanitária	42	18,5	35	15,8	27	18,6	19	16,0
Tanque	23	10,2	22	9,8	14	9,7	10	8,8
Máquina de lavar roupa	34	15,1	49	22,1	25	17,1	17	14,7
Ambientes externos	**L/m²/d**		**L/m²/d**		**L/m²/d**		**L/m²/d**	
Torneira de jardim	2,2	---	0,5	---	0,7	---	0,7	---

L/p/d – litro por pessoa por dia; L/m²/d – litro por área de superfície por dia

Fonte: Extraído de Sant'Ana e Mazzega (2018)

Para estimar o potencial de economia de água potável pelo AAC, considerou-se a oferta de água da chuva e a demanda por usos não potáveis nas quatro tipologias residenciais, com base nos modelos representativos. As demandas foram organizadas em três cenários: (i) irrigação e lavagem de pisos (Demanda 1), irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária (Demanda 2) e irrigação, lavagem de pisos, descarga sanitária e lavagem de roupas (Demanda 3).

Baseado na Equação 1 (Leggett *et al.*, 2001), a oferta de água de chuva foi estimada com base na área média de cobertura das edificações, dados de precipitação média diária dos últimos 30 anos para Brasília fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), aplicação de um coeficiente de escoamento de 0,9 (considerando predominantemente coberturas de telhas cerâmicas ou fibrocimento) e coeficiente de filtração de 0,9, (considerando a eficácia de aproveitamento de 90% de filtros comercialmente disponíveis).

Quadro 1 – Tipologias residenciais por faixa de renda do Distrito Federal

Residências de renda alta		**Residências de renda média alta**	
			
Renda familiar	> 20 salários-mínimos	Renda familiar	10 a 20 salários-mínimos
Tipologia residencial	Casas de alto padrão	Tipologia residencial	Edifício em alturas
Número de moradores	4,6 moradores	Número de moradores	3,2 moradores
Número de banheiros	6	Número de banheiros	3
Área construída média	427 m^2	Área construída média	91 m^2
Área de cobertura média	373 m^2	Área de cobertura média	765 m^2
Área de jardim/quintal	1,364 m^2	Área de jardim/quintal	---
Volume de piscina	53 m^3	Volume de piscina	---
Residências de renda média baixa		**Residências de renda baixa**	
			
Renda familiar	5 a 10 salários-mínimos	Renda familiar	1 a 5 salários-mínimos
Tipologia residencial	Casa	Tipologia residencial	Casa de baixo padrão
Número médio de moradores	4,6 moradores	Número médio de moradores	4,5 moradores
Número de banheiros	3	Número de banheiros	2
Área construída média	141 m^2	Área construída média	110 m^2
Área de cobertura média	130 m^2	Área de cobertura média	97 m^2
Área de jardim/quintal	80 m^2	Área de jardim/quintal	74 m^2
Volume de piscina	35 m^3	Volume de piscina	---

Fonte: Extraído de Sant'Ana e Mazzega (2018)

DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.8201

$$Q_t = PP_t \times A \times C_e \times C_f \quad \text{(Eq. 1)}$$

Onde:
Q_t, Oferta de água de chuva (litros) no intervalo de tempo, *t;*
PP_t, Precipitação (mm) no intervalo de tempo, *t*;
A, Área de coleta da água de chuva (m^2);
C_e, Coeficiente de escoamento; e
C_f, Coeficiente de filtração.

Foram realizadas simulações comportamentais com diferentes capacidades de reservatórios comerciais, utilizando intervalos diários e aplicando a regra operacional '*yield before spillage*' (YBS), conforme as Equações 2 e 3 (Fewkes, 2000). O desempenho dos sistemas foi avaliado em termos de redução do consumo de água potável, considerando as diferentes faixas de renda, padrões de uso e cenários de demanda. Para edificações multifamiliares, os resultados foram normalizados por unidade habitacional (m³/residência/ano), permitindo a comparação com as demais tipologias.

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad \text{(Eq. 2)}$$

Sujeito a $0 \leq V_{t-1} \leq C$

sendo:
V_t, Água de chuva armazenada no intervalo de tempo, *t;*
V_{t-1}, Água de chuva armazenada no intervalo de tempo, *t* –1 ;
Q_t, Oferta de água de chuva no intervalo de tempo, *t;*
D_t, Demanda de água de chuva no intervalo de tempo, *t;* e
C, Capacidade de armazenamento.

$$Y_t = \min \begin{cases} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{cases} \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$V_t = \min \begin{cases} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ C \end{cases}$$

Y_t, Coleta de água de chuva no intervalo de tempo, *t.*

Quanto ao reúso de água cinza, foram consideradas como fontes os efluentes gerados por chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupas. Avaliaram-se três tipos de sistemas: (i) reúso manual, com armazenamento da água de enxague da máquina de lavar roupas em um tonel (bombona) de 300 litros, para irrigação e lavagem de pisos; (ii) sistema de irrigação subsuperficial alimentado por água cinza não tratada; (iii) sistemas com tratamento, dimensionados para três diferentes níveis de demanda, de acordo com os mesmos cenários utilizados na avaliação do AAC. A estimativa do potencial de redução do consumo de água potável baseou-se no balanço entre oferta e demanda, utilizando dados dos usos finais obtidos nos modelos representativos.

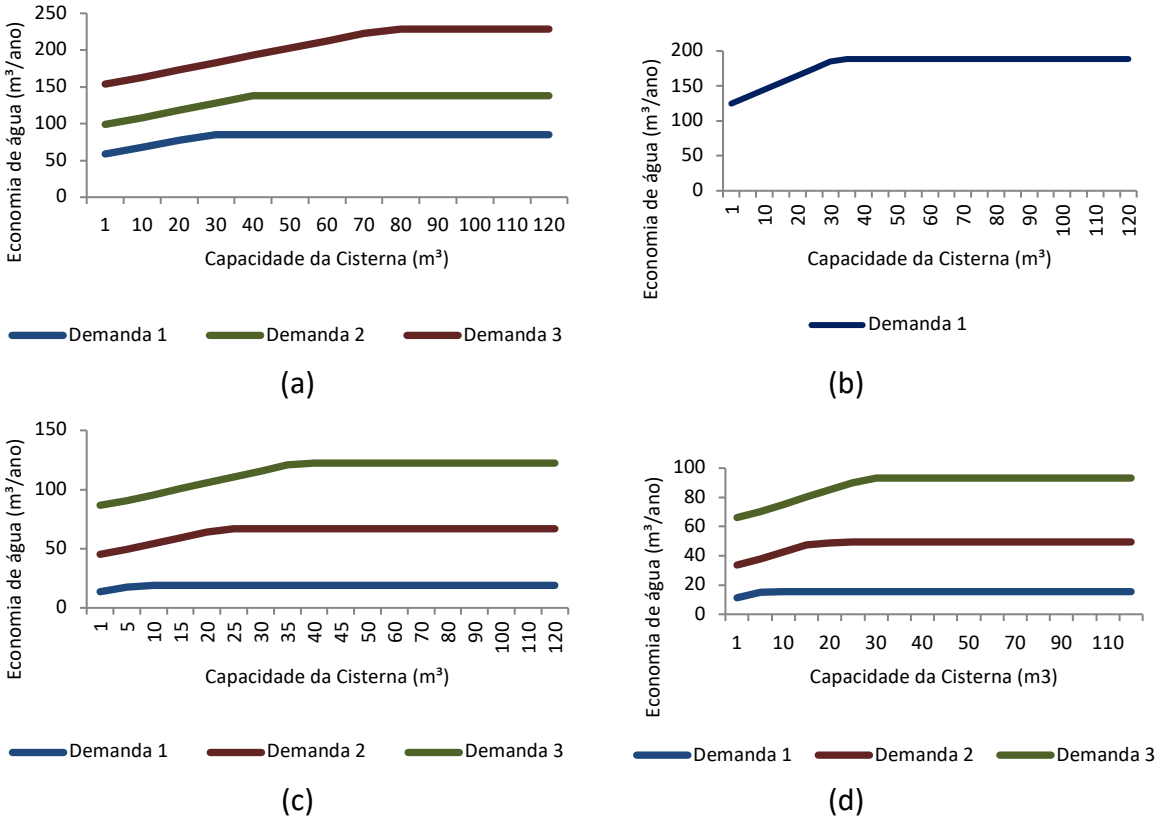
DOI: https://doi.org/10.46421/sispred.v4.8201

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Sistema de aproveitamento de água de chuva

As simulações indicaram que o aumento da capacidade das cisternas de água de chuva resulta em maior economia de água potável. No entanto, identificou-se um ponto de saturação, a partir do qual aumentos adicionais no volume da cisterna não geram reduções proporcionais, devido às limitações de oferta (área de cobertura) e demanda (usos não potáveis) (Figura 1). Assim, a capacidade ideal de armazenamento foi definida como aquela que proporciona a maior economia com o menor volume necessário.

Figura 1 – Economia anual de água em função do volume de reservatório, por faixa de renda: alta (a), média-alta (b), média-baixa (c) e baixa (d)



Fonte: Autores (2025)

Nas residências de alta renda, a economia variou entre 59 e 229 m³/residência/ano, conforme o cenário de demanda e a capacidade da cisterna. Em edifícios de renda média-alta, o uso da água de chuva para descarga e lavagem de roupas mostrou-se inviável, dada a baixa relação entre oferta e demanda. Ainda assim, sistemas isolados voltados à irrigação e lavagem de pisos permitiram economias entre 1,7 e 2,4 m³/apartamento/ano. Em residências de renda média-baixa, as economias anuais variaram de 14 a 122 m³, enquanto em unidades de baixa renda, os valores oscilaram entre 11 e 96 m³, dependendo dos usos adotados e da capacidade da cisterna.

3.2 Sistema de reúso de água cinza

A viabilidade dos sistemas de reúso de água cinza variou de acordo com a tipologia. Entre os sistemas analisados, o uso de bombonas para armazenamento e reúso manual da água apresentou os menores volumes economizados: 50 m³/residência/ano (alta renda), 19 m³ (média-baixa) e 16 m³ (baixa renda). Essa solução também foi inviável em edifícios, inclusive nas áreas comuns. O sistema de desvio de água cinza para irrigação subterrânea foi aplicável apenas em residências de alta renda com jardins. Nas demais, especialmente nas de renda média-baixa e baixa, a predominância de pisos impermeáveis limitou sua aplicação. Em edifícios, a oferta excede a demanda de irrigação, restringindo sua efetividade.

Por fim, os sistemas de tratamento de água cinza apresentaram o maior potencial de economia, apesar de exigirem maior complexidade técnica e adaptações prediais. Esses sistemas permitiram reduções significativas, chegando a 164 m³/residência/ano no cenário mais abrangente (Demanda 3: irrigação, lavagem de pisos, descarga e lavagem de roupas). A Tabela 2 resume o potencial de redução do consumo de água potável para os diferentes sistemas e tipologias analisadas.

Tabela 2 – Potencial de redução do consumo de água potável pelo reúso de água cinza

Sistema de Reúso de Água cinza	Economia (m^3/residência/ano)	Redução (%)
Residências Renda Alta		
Prática do tonel e balde	50	9,5
Sistema de desvio de água cinza	84	15,8
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 1	84	15,8
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 2	148	27,8
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 3	164	30,8
Residências Renda Média-Alta		
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 1	3	1,1
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 2	39	15,8
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 3	65	26,7
Residências Renda Média-Baixa		
Prática do tonel e balde	19	6,9
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 1	19	6,9
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 2	68	24,1
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 3	149	52,9
Residências Renda Baixa		
Prática do tonel e balde	16	6,8
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 1	16	6,8
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 2	50	21,7
Sistema de tratamento de água cinza – Demanda 3	126	54,2

Fonte: Autores (2025)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo realizou uma análise comparativa do desempenho de sistemas de aproveitamento de água de chuva e de reúso de água cinza em diferentes tipologias residenciais e faixas de renda no Distrito Federal. De modo geral, os resultados evidenciam que ambas as tecnologias podem contribuir de forma significativa para a redução do consumo de água potável em residências.

As maiores economias foram observadas em habitações unifamiliares de renda alta, com reduções de até 229 m³/residência/ano com o uso de AAC. Em residências de renda média-baixa e baixa, as economias variaram entre 122 e 96 m³/residência/ano, dependendo do cenário de uso e da capacidade de armazenamento. Em edificações multifamiliares, o uso de água de chuva mostrou-se viável apenas para irrigação e lavagem de pisos, com economia de até 2,4 m³/unidade/ano.

No caso do reúso de água cinza, os sistemas que incluíam etapas de tratamento apresentaram os melhores resultados, com economias de 164 m³/residência/ano em residências de alta renda no cenário mais abrangente. Sistemas simplificados, como o reúso manual com tonéis, demonstraram viabilidade apenas em contextos específicos, apresentando os menores índices de economia. A efetividade dos sistemas de reúso está fortemente associada à disponibilidade de espaço físico e ao grau de adaptabilidade da infraestrutura existente, o que limita sua aplicação em edificações verticais.

Os resultados reforçam o potencial das soluções descentralizadas de abastecimento para promover a conservação de água em áreas urbanas. A adoção em larga escala de sistemas prediais de água não potável, como os de aproveitamento de água de chuva e reúso de água cinza, configura-se como uma estratégia eficaz para reduzir a pressão sobre os recursos hídricos. A extrapolação desses resultados para contextos com características climáticas e socioeconômicas semelhantes indica que políticas públicas voltadas à implementação desses sistemas podem contribuir significativamente para a gestão sustentável da água, ao reduzir a dependência de sistemas centralizados de abastecimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu agradecimento aos(às) avaliadores(as) anônimos(as) pelas críticas construtivas e sugestões relevantes, que contribuíram para o aprimoramento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

AZABACHE, Y., ROJAS, K., IRIGOÍN, S., RODRIGUEZ, R., & QUISPE, B. Proposal for a hydraulic system for reusing gray water that would reduce drinking water consumption in family homes. **Manglar,** v. 2, n. 2, 2020. DOI: https://doi.org/10.17268/manglar.2020.026.

BILLINGS, R. B.; JONES, C. V. **Forecasting urban water demand.** 2. ed. Denver: American Water Works Association, 2008.

BROWN, C.; GERSTON, J.; COLLEY, S. **The Texas Manual on Rainwater Harvesting.** Texas Water Development Board. 3. ed. Austin: Texas Water Development Board, 2005. 88 p.

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. **Urban Water**, v.1, n.4, p. 323-333, 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00026-1.

GÓMEZ-MONSALVE, M.; DOMÍNGUEZ, I. C.; YAN, X.; WARD, S.; OVIEDO-OCAÑA, E. R. Environmental performance of a hybrid rainwater harvesting and greywater reuse system: a case study on a high

water consumption household in Colombia. Journal of Cleaner Production, v. 345, 131125, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131125.

HAMMES, G.; GHISI, E.; THIVES, L. P. Water end-uses and rainwater harvesting: a case study in Brazil. **Urban Water Journal**, v. 17 n.2, 177–183. 2020. DOI: https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1748663.

Leggett, D. J.; Brown, R.; Brewer, D.; Stanfield, G.; Holliday, E. **Rainwater and Greywater Use in Buildings:** Best Practice Guidance. London: CIRIA, 2001. 66p.

MAYKOT, J. K.; GHISI, E. Assessment of A Rainwater Harvesting System in A Multi-Storey Residential Building in Brazil. **Water** v.12, n. 2, e546, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/w12020546

OVIEDO-OCAÑA, E., DOMINGUEZ, I., WARD, S., RIVERA-SANCHEZ, M., & ZARAZA-PEÑA, J. Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households. Environmental Science and Pollution Research International, v. 25, n. 20, p. 19200 – 19216, 2017. https://doi.org/10.1007/s11356-017-8710-5

PACHECO, G.C.R., ALVES, C.A. The Influence of Deep Uncertainties in the Design and Performance of Residential Rainwater Harvesting Systems. **Water Resources Management,** v.37, 1499–1517, 2023. https://doi.org/10.1007/s11269-023-03436-w.

ROSA, G.; GHISI, E. Water Quality and Financial Analysis of a System Combining Rainwater and Greywater in a House. Water, v. 12, n.7, 2021. https://doi.org/10.3390/W13070930.

SANT'ANA, D. Rainwater harvesting in Brazil: investigating the viability of rainwater harvesting for a household in Brasília. *In*: **Eco-Architecture:** Harmonization Between Architecture and Nature. BROADBENT, G.; BREBBIA, C.A. (ORG.). 1ed. Southampton: WIT Press, v. 86, p. 381-390, 2006.

SANT'ANA, D. Domestic water end-uses and water conservation in multi-storey buildings in the Federal District, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE IN PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 28., 2012, Lima. **Archives** [...]. Lima: PLEA, p. 1-6, 2012.

SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; MONTEIRO, L. Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília "" parte 1: reduções no consumo de água. **Paranoá**, v. 6, n. 10, p. 77–84, 2013. DOI: https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n10.2013.12125.

SANT'ANA, D; MAZZEGA, P. Socioeconomic analysis of domestic water end-use consumption in the Federal District, Brazil. Sustainable Water Resources Management, v. 4, p. 921–936, 2018. https://doi.org/10.1007/s40899-017-0186-4.

SOUTO, S.L., REIS, R.P.A. & CAMPOS, M.A.S. Impact of Installing Rainwater Harvesting System on Urban Water Management. **Water Resources Management** v.37, p.583–600, 2023. https://doi.org/10.1007/s11269-022-03374-z.

STEFFEN, J.; BURIAN, S.; POMEROY, C.; JENSEN, M. Water Supply and Stormwater Management Benefits of Residential Rainwater Harvesting in U.S. Cities. **Journal of the American Water Resources Association**, v.49, p.810 – 824, 2013. https://doi.org/10.1111/jawr.12038.