

DIFERENÇA EM DIFERENÇAS NA AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE ÁGUA EM ÁREA URBANA

Alyne Lemos¹; Ruan Fernandes²; Júlio Luz³; Isabelle Câmara⁴ & Marllus Neves⁵

RESUMO

Este estudo avalia o impacto da implementação de sistemas descentralizados de captação de águas pluviais em uma comunidade urbana vulnerável no Recife (PE), utilizando o método de Diferença em Diferenças (DD) como estratégia central de identificação causal. Adotou-se uma abordagem quantitativa, comparando um grupo de tratamento (87 domicílios beneficiados com o sistema) e um grupo de controle (27 domicílios que não receberam o sistema), nos períodos pré e pós-intervenção. O tempo de acesso à água foi utilizado como indicador das condições de abastecimento domiciliar. Os resultados indicam redução significativa no tempo de busca de água, com efeito médio estimado em 48 minutos diários, alcançando valores superiores a 52 minutos em domicílios com maior vulnerabilidade, onde mulheres são as responsáveis pela busca. Já em contextos de escassez frequente, a redução de 33,5 minutos sugere que o sistema PluGoW[®] ajuda a mitigar a dependência de fontes externas durante períodos críticos. O estudo demonstrou que a aplicação do método de Diferença em Diferenças (DD), associada ao uso do tempo como indicador, constitui uma abordagem interessante para avaliação de impacto em contextos urbanos vulneráveis. Conclui-se que soluções descentralizadas podem complementar o abastecimento formal, devendo ser articuladas a políticas que considerem dimensões sociais, como gênero.

Palavras-Chave – Captação de água da chuva; Diferença em Diferenças; Tempo de acesso à água.

ABSTRACT

This study evaluates the impact of implementing decentralized rainwater harvesting systems in a vulnerable urban community in Recife (PE), using the Difference-in-Differences (DiD) method as the main causal identification strategy. A quantitative approach was adopted, comparing a treatment group (87 households benefiting from the system) and a control group (27 households that did not receive the system) in the pre- and post-intervention periods. Time spent accessing water was used as an indicator of household water supply conditions. The results indicate a significant reduction in water collection time, with an average effect estimated at 48 minutes per day, reaching over 52 minutes in more vulnerable households, where women are responsible for water collection. In contexts of frequent water scarcity, the reduction of 33.5 minutes suggests that the PluGoW[®] system helps mitigate dependence on external sources during critical periods. The study demonstrates that the application of the Difference-in-Differences (DiD) method, combined with the use of time as an indicator, constitutes a valuable approach for impact evaluation in vulnerable urban contexts. It concludes that decentralized solutions can complement formal water supply systems and should be integrated with policies that consider social dimensions, such as gender.

Key-words – Rainwater harvesting; Difference-in-Differences; Water access time.

¹ Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento - Universidade Federal de Alagoas (UFAL). E-mail: alyne.lemos@ctec.ufal.br

² Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua (UFPE); PLUVI Soluções Ambientais Inteligentes

³ Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), Barreiros/PE

⁴ Doutora em Tecnologias Ambientais (UFPE); PLUVI Soluções Ambientais Inteligentes

⁵ Professor Titular da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Centro de Tecnologia (CTEC-UFAL). E-mail: marllus.neves@ctec.ufal.br

INTRODUÇÃO

A intensificação dos processos de urbanização, especialmente em países em desenvolvimento, tem ampliado as pressões sobre os sistemas de abastecimento de água, resultando em acesso intermitente e desigual em áreas urbanas vulneráveis (UN-HABITAT, 2020; IPCC, 2022).

De acordo com o IPEA (2022), o acesso desigual aos recursos hídricos no Brasil configura-se como um dos maiores desafios no enfrentamento da pobreza, com grande parte das comunidades em situação de vulnerabilidade social concentradas nas áreas mais afetadas pela escassez hídrica.

A escassez de água afeta diretamente a qualidade de vida da população urbana mais vulnerável, uma vez que mudanças nos regimes de precipitação, com maior irregularidade e prolongamento de períodos secos, tendem a reduzir a confiabilidade de sistemas alternativos, como a captação de água da chuva, ampliando a vulnerabilidade hídrica em contextos já fragilizados (Vaz *et al.*, 2026).

Essa combinação de fatores expõe as populações, especialmente aquelas em áreas periurbanas negligenciadas pelas políticas públicas de saneamento e saúde, a elevado risco de doenças e outros problemas associados à precariedade do abastecimento de água (Razzolini & Günther, 2008).

Segundo o IPEA (2022), a insuficiência de recursos hídricos nos centros urbanos gera um aumento nos custos de vida, especialmente para as famílias que precisam recorrer a serviços privados de abastecimento, como caminhões-pipa, para suprir suas necessidades básicas. Mulheres e crianças são particularmente afetadas por essa realidade, uma vez que a responsabilidade pela coleta, armazenamento e gestão da água no âmbito doméstico recai desproporcionalmente sobre elas (UNICEF; WHO, 2023; Santos, 2023)

Nesse contexto, soluções descentralizadas de acesso à água, como sistemas de aproveitamento pluvial, têm sido adotadas como estratégias complementares para ampliar a segurança hídrica em escala domiciliar (Campisano *et al.*, 2017). Tais soluções apresentam potencial para ampliar a resiliência urbana, sobretudo em territórios onde a cobertura dos serviços formais é insuficiente.

Entretanto, apesar do avanço dos sistemas descentralizados de acesso à água, ainda são limitadas as abordagens que avaliam, de forma causal, seus impactos em contextos urbanos vulneráveis, especialmente a partir de indicadores capazes de captar mudanças no cotidiano domiciliar, onde a literatura permanece predominantemente centrada em análises técnicas de dimensionamento, desempenho hidráulico ou viabilidade econômica (Ribeiro; Ghisi, 2023).

Nesse sentido, este estudo contribui para a literatura ao: (i) aplicar o método de Diferença em Diferenças em um contexto urbano de alta vulnerabilidade, ainda pouco explorado; (ii) propor o

tempo de acesso à água como indicador sensível das condições de abastecimento e bem-estar; e (iii) incorporar recortes de gênero na análise dos impactos, evidenciando desigualdades na apropriação dos benefícios. Diante disso, avalia-se o efeito da implementação de sistemas de captação de águas pluviais em uma comunidade urbana do Recife.

METODOLOGIA

Tipo de pesquisa e Levantamento dos dados

A pesquisa adota abordagem quantitativa, com foco na avaliação de impacto, baseada no método de avaliação de impacto denominado Diferença em Diferenças (DD). A coleta de dados foi realizada em dois momentos (pré e pós-intervenção), com base na aplicação de 114 questionários NPS (*Net Promoter Score*) e instrumentos sociodemográficos, complementados por observações de campo para dois grupos (tratamento e controle).

A análise foi complementada por dados secundários de fontes oficiais (IBGE, IPEA e PNAD) e referenciais internacionais, com destaque para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, especialmente o ODS 6 (água potável e saneamento) e o ODS 5 (igualdade de gênero), e as diretrizes do relatório do IPCC (2022).

A comunidade estudada é composta por 504 domicílios. Destes, 114 participaram da pesquisa, correspondendo à amostra analisada neste estudo. O grupo de tratamento foi constituído pelos 87 domicílios que receberam o sistema descentralizado de captação de águas pluviais PluGoW®, enquanto o grupo de controle compreendeu 27 domicílios da mesma comunidade que não foram contemplados pela intervenção. A partir dessas amostras principais foram constituídas subamostras reduzidas para análises específicas relacionadas à responsabilidade feminina pela busca de água e à ocorrência de escassez frequente.

Caracterização da área de estudo

A área de estudo, localizada na zona norte do Recife, corresponde ao Alto da Telha, classificado pela Defesa Civil como área de risco para deslizamentos e enxurradas. Trata-se de um território urbano denso, com relevo acidentado e infraestrutura precária de abastecimento, ocupando aproximadamente 11,5 ha e abrigando 504 domicílios, predominantemente de baixa renda (IBGE, 2023).

A Figura 1 apresenta a localização georreferenciada da área, elaborada no software livre QGIS.

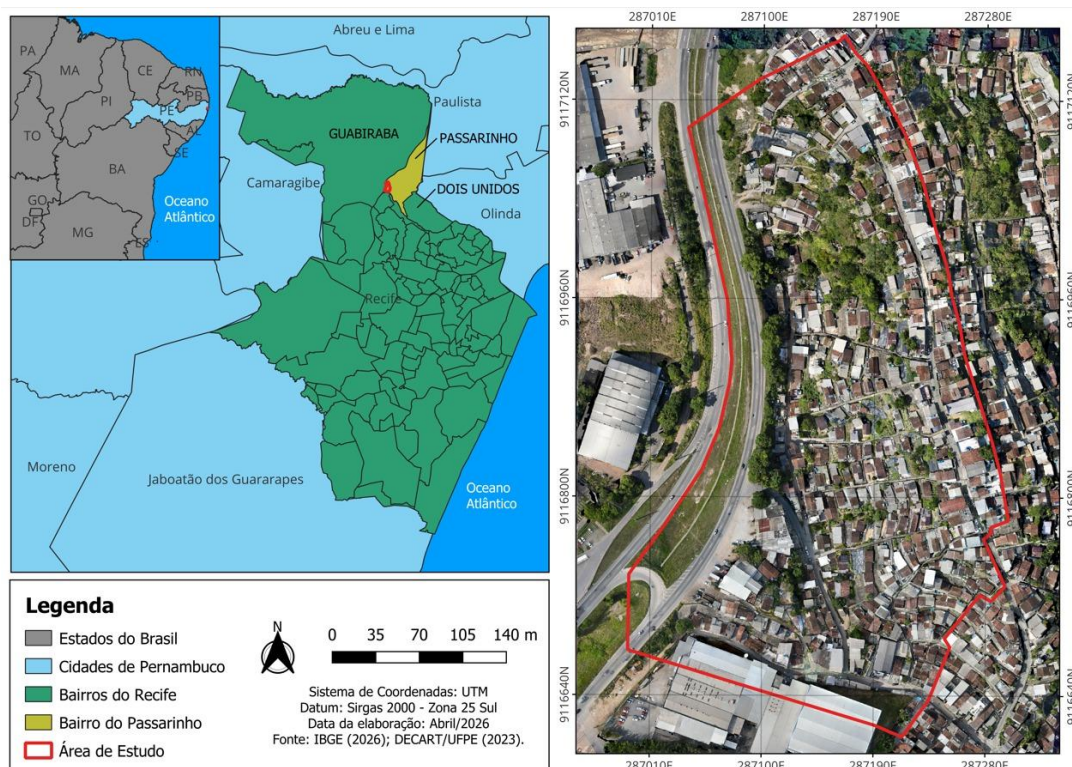


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

A região tem uma alta taxa de pobreza, com uma grande parcela da população vivendo abaixo da linha de pobreza, com 80,5% das pessoas maiores de 18 anos recebendo menos que 1 salário-mínimo (IBGE, 2020).

Sistema Descentralizado de Captação de Águas Pluviais

O sistema de aproveitamento de águas pluviais analisado neste estudo, denominado PluGoW[®], foi desenvolvido pela startup PLUVI Soluções Ambientais Inteligentes e empresa Aqualito como uma alternativa descentralizada para ampliação do acesso à água em contextos urbanos vulneráveis.

O sistema é acoplado às calhas das edificações e incorpora um dispositivo de descarte automático da primeira água de chuva, visando à remoção inicial de impurezas provenientes da superfície de captação. A estrutura inclui um reservatório elevado com capacidade aproximada de 1.300 litros, projetado para integração com diferentes fontes de abastecimento, incluindo água de chuva e fontes convencionais. No ponto de consumo, o sistema utiliza barreiras físicas de filtração, com o objetivo de reduzir parâmetros como turbidez e presença de contaminantes microbiológicos, sem adição de insumos químicos (Figura 2).

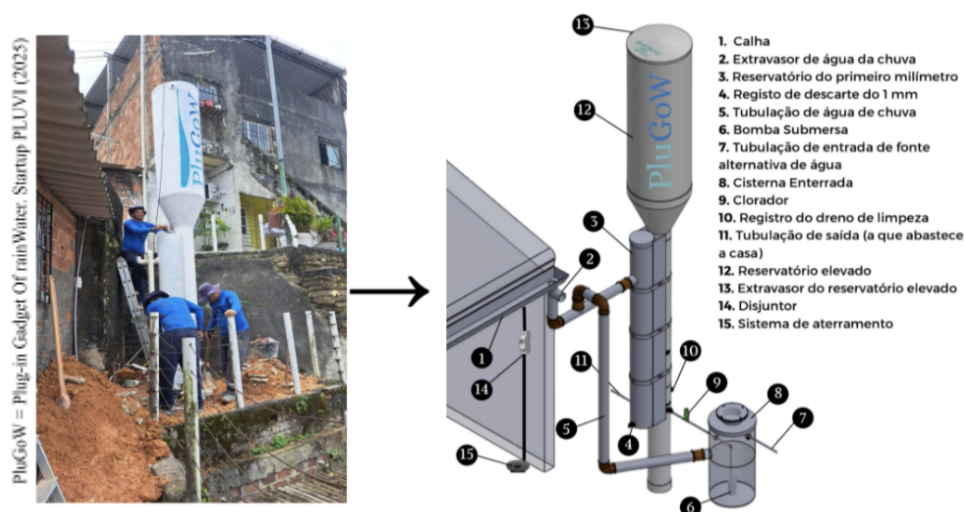


Figura 2 – Instalação do sistema PluGoW®

A adoção dessa tecnologia no contexto estudado busca complementar o abastecimento existente, ampliando a disponibilidade hídrica em nível domiciliar.

Escolha do método para análise dos dados

Para a análise dos dados, adotou-se o método Diferença em Diferenças (DD), amplamente reconhecido na econometria como uma abordagem robusta para avaliação de impacto.

Como referência metodológica, utilizou-se o manual de Gertler *et al.* (2018), *Avaliação de Impacto na Prática* (Banco Mundial), que apresenta o método de Diferença em Diferenças (DD). Esse método compara a variação temporal entre os grupos de tratamento e controle (Figura 3), permitindo estimar o efeito causal da intervenção. O método de Diferença em Diferenças (DD) baseia-se na suposição de tendências paralelas, segundo a qual, na ausência da intervenção, os grupos de tratamento e controle apresentariam evoluções semelhantes.

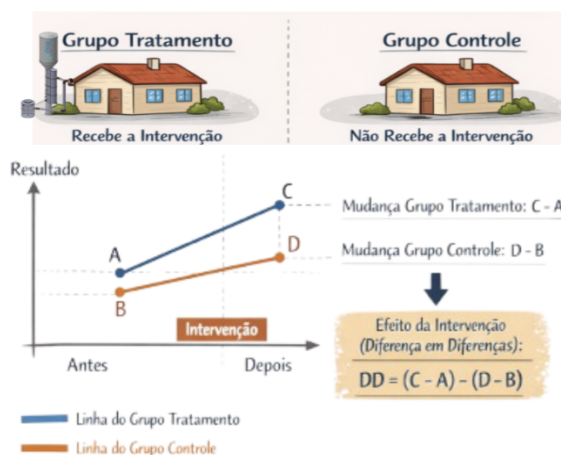


Figura 3 – Intervenção pelo método DD, comparando Grupos Tratamento e Controle.

O estudo considerou duas dimensões de comparação. A primeira corresponde ao período de observação, contemplando dois momentos: antes da implantação do sistema (janeiro de 2024) e seis meses após o início de sua utilização. A segunda corresponde aos grupos analisados: o grupo de tratamento, composto por 87 domicílios beneficiados com a implantação do sistema, e o grupo de controle, formado por 27 domicílios da mesma comunidade que não receberam a tecnologia. A combinação dessas duas dimensões permitiu a aplicação do método de Diferença em Diferenças, conforme representado pela Equação (1).

$$DD = (y_{Tpós} - y_{Tpré}) - (y_{Cpós} - y_{Cpré}) \quad (1)$$

onde y representa a média da variável estudada (resultado de interesse); T e C são os grupos de tratamento e controle; Os termos ‘pré’ e ‘pós’ referem-se, respectivamente, aos períodos anterior e posterior à implantação dos sistemas de aproveitamento de água da chuva nos telhados.

A variável escolhida foi o *Tempo gasto para buscar água*. A questão de gênero foi avaliada modificando as subamostras de controle e tratamento de modo a ser possível avaliar o *Tempo gasto para buscar água sob responsabilidade de mulheres*; e o *Tempo gasto para buscar água em residências que enfrentam escassez frequente*. As amostras divididas são aqui denominadas subamostras reduzidas.

O tratamento estatístico adotado neste estudo está sintetizado na Figura 4. Os cálculos para Dif.C e Dif.T são simples, sendo efetuados em colunas ladeadas em planilhas. No entanto, nos cálculos de DD, não há como criar mais uma coluna Dif.T - Dif.C, pois os tamanhos das subamostras são diferentes. Assim, foram gerados intervalos de confiança para Dif.T e para Dif.C, pelo método não paramétrico Bootstrap com correção de viés, e tomados os seus pontos médios na avaliação de impacto.

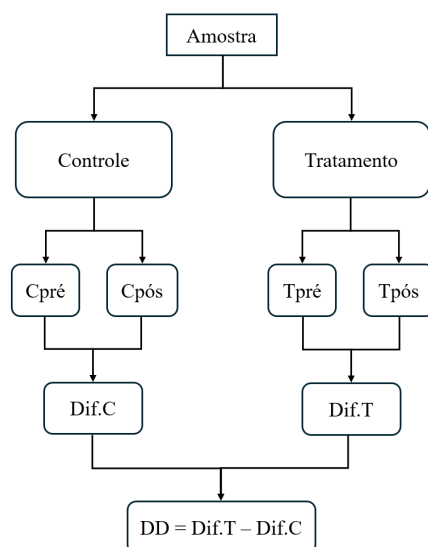


Figura 4 - Fluxograma da avaliação DD.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados se baseiam nas medidas de tendência central. Os intervalos de confiança gerados pelo método não paramétrico Bootstrap com correção de viés evidenciaram a significância das diferenças Dif.T e Dif.C.

Tempo gasto para buscar água – todos os dados

A Tabela 1 estão os resultados de algumas estatísticas amostrais e o ponto médio do intervalo de confiança para as subamostras com todos os dados. Observa-se uma grande diferença entre as subamostras de controle e tratamento.

Tabela 1. Estatística descritiva para o tempo gasto para buscar água – todos os dados

Subamostra	n	Média (min)	Mediana (min)	Ponto médio (min)
Diferença controle	27	-1,1	-1,0	-1,3
Diferença tratamento	87	46,9	47,0	46,9

Fonte: Autores (2025)

Tempo gasto para buscar água sob responsabilidade de mulheres

A Tabela 2, assim como ocorreu na Tabela 1, mostra diferenças grandes entre as subamostras de controle e tratamento, para o caso de residências com mulheres responsáveis por buscar a água.

Tabela 2. Estatística descritiva para o tempo gasto para buscar água sob responsabilidade de mulheres

Subamostra	n	Média (min)	Mediana (min)	Ponto médio (min)
Diferença controle	16	2,9	2,5	3,0
Diferença tratamento	63	55,5	55	55,5

Fonte: Autores (2025)

Tempo gasto para buscar água em residências que enfrentam escassez frequente

Para as subamostras de domicílios com escassez frequente, os resultados indicam diferenças grandes novamente, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Estatística descritiva para o tempo gasto para buscar água em residências que enfrentam escassez frequente

Subamostra	n	Média (min)	Mediana (min)	Ponto médio (min)
Diferença controle	21	-0,71	0	-0,8
Diferença tratamento	63	32,76	33	32,8

Fonte: Autores (2025)

Impacto no tempo gasto para buscar água

Tomando-se os resultados apresentados acima, procura-se, de forma comparativa, sintetizar os cálculos e avaliar se as subamostras reduzidas (responsabilidade de mulheres e residências com escassez frequente) evidenciam o efeito da aplicação PluGoW[®] mais pronunciado nelas do que na subamostra com todas as residências (todos os dados).

Em outras palavras, espera-se evidenciar se a aplicação PluGoW[®] foi mais interessante ainda para as residências onde as mulheres são responsáveis por buscar a água e para as residências com escassez de água frequente. Os boxplots contidos na Figura 5 mostram a síntese da avaliação do impacto no tempo gasto para buscar água.

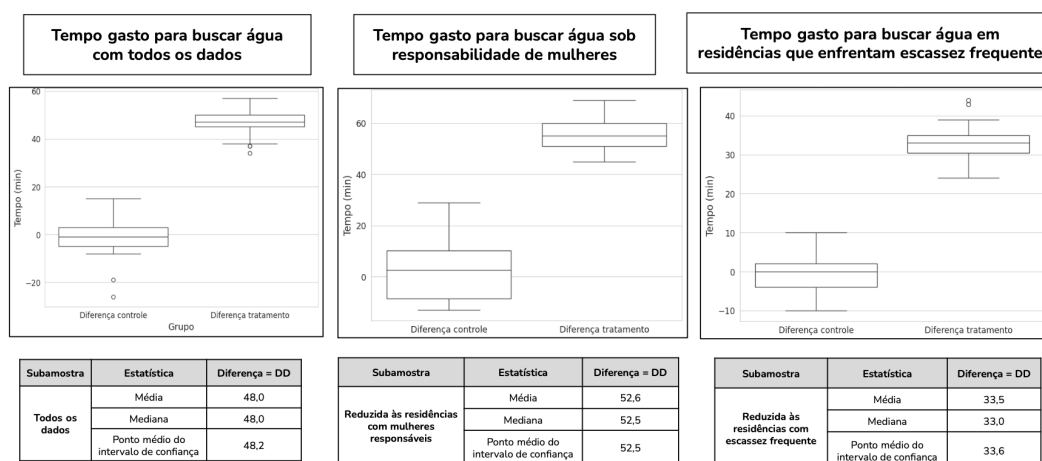


Figura 5 - Avaliação do impacto na variável tempo gasto para buscar água.

Os números indicam que o efeito da aplicação PluGoW[®] é nítido, pois houve uma redução no tempo para buscar água de, no mínimo 33 minutos e no máximo 52,6 minutos. Nas residências com mulheres responsáveis por buscar a água, a redução no tempo para buscar água foi entre 9 e 9,5% superior em relação à subamostra com todos os dados. Para as residências com escassez frequente, a redução no tempo para buscar água foi entre 56 e 59% inferior em relação à subamostra com todos os dados.

Desta forma, o método DD permitiu confirmar que o sistema PluGoW[®] não apenas melhora o acesso à água, mas reorganiza o cotidiano das famílias, sendo o tempo um indicador de eficiência do sistema descentralizado.

Os resultados devem ser interpretados considerando que o monitoramento compreendeu aproximadamente seis meses após a implantação do sistema, período em que a disponibilidade de água pluvial pode ser influenciada pela sazonalidade das precipitações no município do Recife. Como os grupos de tratamento e controle foram acompanhados simultaneamente e submetidos às

mesmas condições climáticas, o método de Diferença em Diferenças contribuiu para minimizar a influência das variações sazonais sobre a estimativa do efeito da intervenção.

CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a aplicação do método de Diferença em Diferenças, associada ao uso do tempo como indicador das condições de acesso à água, constitui uma abordagem interessante para avaliação de impacto em contextos urbanos vulneráveis.

Os resultados evidenciam que a implementação do sistema de aproveitamento de água da chuva contribuiu significativamente para a redução do tempo de busca de água, indicando melhorias nas condições de acesso e no bem-estar domiciliar.

Destaca-se que os efeitos da intervenção são mais expressivos em contextos específicos, sobretudo naqueles em que mulheres são responsáveis pela coleta de água, evidenciando a relevância de incorporar recortes de gênero na análise de políticas públicas.

Conclui-se que soluções descentralizadas de abastecimento apresentam potencial como estratégia complementar para a promoção da segurança hídrica em áreas urbanas vulneráveis. Como perspectiva futura, recomenda-se ampliar o período de monitoramento, contemplando diferentes ciclos hidrológicos e condições sazonais de precipitação, bem como expandir a análise para outros contextos urbanos, a fim de avaliar a replicabilidade dos resultados e aprofundar a compreensão das dinâmicas socioambientais relacionadas ao acesso à água.

AGRADECIMENTOS à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS) do Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e à Startup PLUVI Soluções Ambientais Inteligentes.

REFERÊNCIAS

- CAMPISANO, A. *et al.* (2017). "Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives". *Water Research*, v. 115, p. 195–209, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
- GERTLER, P. J. *et al.* (2018). "Avaliação de Impacto na Prática". 2. ed. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/25030>
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2022). "Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira 2022". Rio de Janeiro. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101979.pdf>
- IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. (2022). "Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability". Cambridge: Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. (2022). "Análise da gestão hídrica e a mitigação da vulnerabilidade social no Brasil". Brasília.
- RAZZOLINI, M. T. P.; GÜNTHER, W. M. R. (2008). "Impactos na saúde das deficiências de acesso à água. Saúde e Sociedade", São Paulo, v. 17, n. 1, p. 21–32. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902008000100003>
- RIBEIRO, L. M. L.; GHISI, E. (2023). "Potential for drinking water savings through rainwater use: a case study in Brazil". *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 47-64. ANTAC. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212023000200662>
- SANTOS, N. (2023). "Desigualdades invisíveis: como a falta de saneamento amplifica as desigualdades de gênero". Rede Brasil de Organismos de Bacia Hidrográfica–REBOB. <https://www.rebob.org.br/post/desigualdades-invis%C3%ADveis-como-a-falta-de-saneamento-amplifica-as-desigualdades-de-g%C3%AAnero>
- UN-HABITAT – UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME. (2020). "World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization". Nairobi: UN-Habitat. <https://unhabitat.org/world-cities-report-2020>
- UNICEF; WHO – UNITED NATIONS CHILDREN’S FUND; WORLD HEALTH ORGANIZATION. (2023). "Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: special focus on gender". Geneva; New York. <https://washdata.org/reports/jmp-2023-wash-households>
- VAZ, I. C. M., TESTON, A., RODRIGUES, E., GHISI, E., BALLARIN, A. S., & BRANDÃO, A. R. d. A. (2026). "Projected Climate Change Impacts on Rainwater Harvesting in Brazilian Single-Family Houses". *Water*, 18(7), 792. <https://doi.org/10.3390/w18070792>