XVIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE
XVIII ENCONTRO DE RECURSOS HÍDRICOS EM SERGIPE

ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO ÓTIMA PARA CISTERNAS DO PROGRAMA UM MILHÃO DE CISTERNAS (P1MC)

Cinthya Santos da Silva [1] & Germano Gondim Ribeiro Neto [2]

RESUMO – Políticas públicas de convivência com o semiárido, a exemplo do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), garantem o acesso a água a milhões de famílias em condições de escassez e vulnerabilidade hídrica. Entretanto, a padronização das cisternas, com capacidades de armazenamento de 16 mil litros, desconsidera as especificidades pluviométricas de cada região, ao mesmo tempo que busca atender a uma mesma demanda. Neste trabalho, foram analisados 80 cenários de área de captação, e a eficiência dos sistemas foi avaliada por meio do Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV) para oito cidades do Nordeste brasileiro. Observou-se que cidades litorâneas, caracterizadas por maiores alturas pluviométricas e regimes chuvosos mais bem distribuídos ao longo do ano, necessitam de menores áreas de captação para atendimento da demanda proposta pelo programa, enquanto regiões mais secas demandariam áreas de captação maiores. Contudo, esse aumento não pode ocorrer de maneira indiscriminada, uma vez que a eficiência do sistema também é limitada pela precipitação. Assim, uma maior capacidade de captação, sem aumento da capacidade de armazenamento, não implica necessariamente em um maior aproveitamento hídrico pela residência, mas pode resultar em maiores volumes de transbordamento do sistema, principalmente em regiões onde a precipitação se concentra em poucos meses do ano.

ABSTRACT– Public policies aimed at coexistence with the semi-arid region, such as the One Million Cisterns Program (P1MC), ensure access to water for millions of families living under conditions of water scarcity and vulnerability. However, the standardization of cisterns, with storage capacities of 16,000 liters, disregards the pluviometric specificities of each region while attempting to meet the same water demand. In this study, 80 catchment area scenarios were analyzed, and the efficiency of the systems was evaluated using the Volumetric Efficiency Coefficient (VEC) for eight cities in Northeastern Brazil. It was observed that coastal cities, characterized by higher rainfall depths and more evenly distributed rainfall regimes throughout the year, require smaller catchment areas to meet the demand proposed by the program, whereas drier regions would require larger catchment areas. Nevertheless, this increase cannot occur indiscriminately, since system efficiency is also limited by precipitation. Thus, a greater catchment capacity, without an increase in storage capacity, does not necessarily imply greater water use efficiency by the household; rather, it may result in higher system overflow volumes, especially in regions where rainfall is concentrated in only a few months of the year.

Palavras-Chave – Aproveitamento de água de chuva; eficiência volumétrica; escassez hídrica.

[1]) Instituto Federal da Paraíba – campus Cajazeiras, 147, R. José Antônio da, R. José Leôncio da Silva, 300 - Lot. Jardim Oasis, Cajazeiras - PB, fone: 83 35324100, cinthya.santos@ifpb.edu.br
[2]) Universidade Federal da Paraíba - Cidade Universitária, João Pessoa/PB, fone: 83 32167200, e-mail: germanogn@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Milhões de pessoas são afetadas pela escassez de água no mundo, tornando-as expostas a maiores riscos físicos e sociais, principalmente quando já se encontram em situações de alta vulnerabilidade. Dentre desdobramentos negativos dessa escassez, podem ser citados a desvalorização da terra e o esgotamento das possibilidades produtivas no meio rural (Araújo, 2021), que acabam por impulsionar a migração da população para os centros urbanos, gerando adensamento populacional nas cidades e pressionando ainda mais o sistema de abastecimento.

No Brasil, a disparidade na distribuição das fontes de água doce entre as regiões do país, torna primordial a busca de soluções alternativas de abastecimento que garantam água com qualidade nas proximidades das residências, com custo acessível, e fornecimento adaptado às condições e necessidades locais, principalmente em localidades com longos períodos de estiagem, como a região semiárida.

Por décadas políticas de enfrentamento a seca foram criadas, encarando-se a baixa oferta de água observada na região semiárida, como um inimigo a ser combatido, após a década de 1980, porém, uma mudança estrutural nas políticas governamentais mostrou uma alteração na forma como a seca passou a ser encarada, surgindo então projetos não mais para combate à seca, mas para convivência com o semiárido, a exemplo do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) (Morais, Paiva e Sousa, 2017).

O programa consiste na implantação de cisternas de placas com capacidade de armazenamento de 16 mil litros, conectadas ao telhado das residências. O objetivo do sistema é a captação e armazenamento de água para consumo de uma família de cinco pessoas durante os meses de estiagem, que dura em média de 6 a 8 meses (ASA,2013). Entretanto, pode ocorrer uma variação da eficiência do sistema e, consequentemente da sua capacidade de atender as famílias beneficiadas (Santos e Abrantes, 2023). Isso se dá, principalmente, devido a variabilidade de precipitação existente na região semiárida, com menores alturas pluviométricas na sua região central (Brito; Brito; Rufino, 2022), associada a áreas de captação distintas e cisternas de volumes padronizados.

Dessa forma, esse artigo tem como objetivo apresentar a análise da eficiência de cisternas do P1MC através do Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV), que permite analisar o volume de água aproveitável em função da capacidade de armazenamento das cisternas (Silva et al., 2026); em 80 cenários de área de captação para cinco cidades inseridas na região semiárida, além de duas cidades litorâneas e uma em zona de transição climática, para fins de comparação.

Com isso, pretende-se obter o valor de área de captação, para cada cidade, que permita a máxima eficiência volumétrica para a cisternas do P1MC, com 16mil litros e atendimento de consumo de cinco pessoas em oito meses.

METODOLOGIA

Caracterização do objeto de estudo

Foram selecionadas 8 cidades localizadas na região Nordeste (Figura 1) – Cajazeiras/PB, Juazeiro/BA, Petrolina/PE, Picos/PI, Teresina/PI, Quixadá/CE, Maceió/AL e Fortaleza/CE, sendo 5 inseridas na região semiárida (CONDEL/SUDENE, 2024), 2 litorâneas e 1 em zona de transição ecológica. Os totais precipitados anuais para cada cidade estão apresentados no quadro 1.

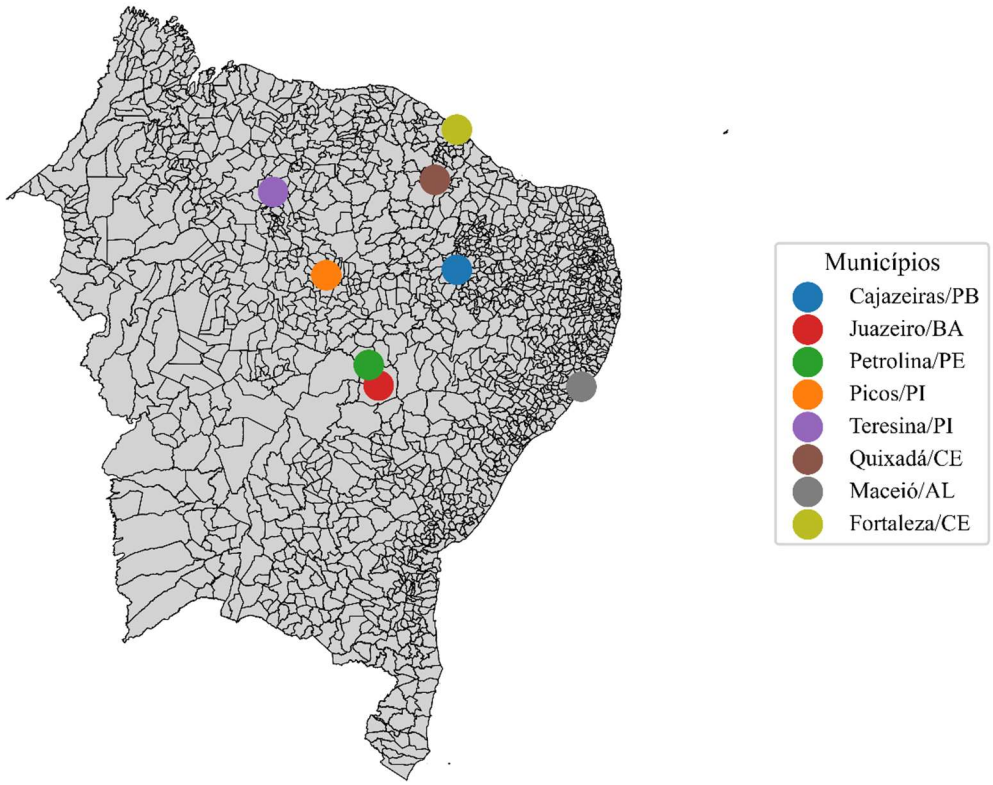


Figura 1 – Cidades objeto de estudo. Fonte: Autores (2026)

Quadro 1 – Cidades analisadas, com suas respectivas precipitações anuais. Fonte: Climatedata (2026)

Cidade	Precipitação anual (mm)	Região climática
Cajazeiras/PB	630	Semiárido
Juazeiro/BA	393	Semiárido
Petrolina/PE	443	Semiárido
Picos/PI	686	Semiárido
Teresina/PI	1451	Zona de transição

Quixadá/CE	818	Semiárido
Maceió/AL	1304	Litoral
Fortaleza/CE	1042	Litoral

Para cálculo do volume de água captada pelo sistema a cada dia, foram considerados dados de precipitação obtidos *online*, disponibilizados para o período entre 01/01/1961 e 31/12/2022, espacializados em forma de grade com resolução espacial de 0,1°x 0,1° para todo o Brasil (Xavier *et al.*, 2022), da qual foram extraídos os valores pertencentes às cidades selecionadas. Foi considerado ainda um coeficiente de escoamento superficial de 0,80 (Tomaz, 2010), uma demanda diária de 13litros/habitante (ASA, 2013), e 80 valores de área no intervalo de 10 a 250m².

Cálculo do Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV)

O Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV) permite a determinação do volume de água aproveitável pelo sistema por m³ de reservatório construído, possibilitando assim uma análise do custo/benefício do sistema. Ele consiste na razão entre o volume de água aproveitável médio anual e o volume do reservatório, conforme equação 1 (Silva, 2023).

Para esse trabalho, o volume do reservatório admitido foi de 16m³, conforme padrão das cisternas do P1MC.

$$CEV = {\bar{V}apr}/{16} \quad (1)$$

Onde $\bar{V}apr$ é o volume médio anual de água aproveitável [m³], e 16 corresponde ao volume da cisterna do P1MC [m³].

Para determinação do volume de água aproveitável médio anual foram utilizadas as equações 2 (determinação do volume captado pelo telhado), 3 (determinação do volume transbordado) e 4 (determinação do volume de água aproveitável).

$$Vent = {P * A * \eta}/{1000} \quad (2)$$

Onde P é a precipitação diária [mm], A a área de captação [m²], e η o coeficiente de escoamento superficial [adimensional].

$$\left(Vent_{(t+1)} + Vres_{(t)} - C\right)\begin{cases} > 0 \rightarrow Vtr = \left(Vent_{(t+1)} + Vres_{(t)} - C\right) - V \\ < 0 \rightarrow Vtr = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Onde $Vent_{(t+1)}$ é o volume de água absorvido pelo sistema de captação [m³], C o consumo diário [m³], e $Vres_{(t)}$ o saldo de água existente no reservatório [m³], Vtr o volume transbordado [m³], e V o volume do reservatório [m³]. Para dias em que o volume captado, mesmo quando da existência de saldo armazenado, foi inferior ao necessário para atendimento do consumo, o valor encontrado pela equação é negativo, ou seja, não ocorreu transbordamento, e o valor foi assumido como zero.

$$\bar{V}apr = \sum_{t=1}^{t=n} (Vent - Vtr)/_{62} \quad (4)$$

Onde n é o número de dias, e 62 o número total de anos analisados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos Coeficientes de Eficiência Volumétrica (CEV) para as oito cidades, nos 80 cenários de área de captação avaliados, permitiu verificar que, a depender do regime pluviométrico, os valores de CEV tendem a uma constante. Assim, o aumento da área de captação não implica, necessariamente, num aumento do volume de água aproveitável pelo sistema.

Na figura 2, observa-se que as cidades litorâneas de Maceió/AL e Fortaleza/CE atingiriam seus maiores valores de CEV com áreas de captação inferiores a 50m². Situação semelhante ocorreu em Cajazeiras/PB e Teresina/PI, mas por razões distintas.

No caso das cidades litorâneas o maior volume de chuvas proporcionaria um maior volume de entrada de água no sistema por metro quadrado de área de captação. Por outro lado, na cidade de Cajazeiras, localizada no alto sertão paraibano, e em Teresina, localizada numa zona de transição ecológica, mas com predominância do bioma Caatinga, a baixa pluviometria limitaria o volume de água aproveitável. Dessa forma, um aumento indiscriminado da área de captação não resultaria em um aumento considerável de eficiência.

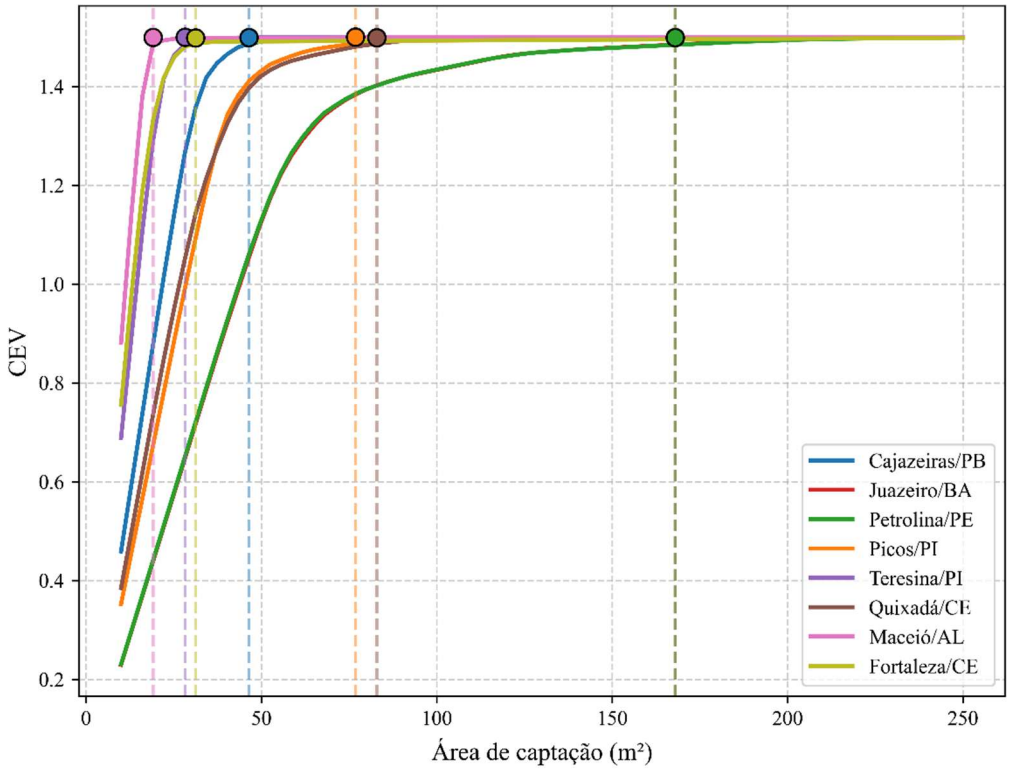


Figura 2 – Coeficiente de Eficiência Volumétrica x Área de captação. Fonte: Autores (2026).

As cidades de Picos/PI e Quixadá/CE, ambas localizadas no semiárido e com preciptação anual de 686mm e 818mm, respectivamente, atingiram seus maiores valores de CEV para áreas de captação intermediárias, em torno de 80m².

As maiores áreas necessárias foram observadas para as cidades de Juazeiro/BA e Petrolina/PE, cidades geograficamente próximas. Ambas apresentam as menores precipitações anuais dentre as localidades estudadas, o que resultou na necessidade de uma maior área de captação pra suprimento da demanda.

Os valores de CEV máximos alcançados para cada cidade, bem como a área de captação associada, podem ser vistos no quadro 2.

Quadro 2 – Cidades analisadas, com seus respectivos CEVs máximos e volumes aproveitáveis, transbordados e área de captação associados. Fonte: Autores (2026).

Cidade	CEV	Volume aproveitável (m³)	Volume transbordado (m³)	Área de captação (m²)
Cajazeiras/PB	1,486	1474,31	640,39	46,46
Juazeiro/BA	1,485	1472,67	2350,23	167,97
Petrolina/PE	1,484	1472,16	2370,82	167,97
Picos/PI	1,487	1474,86	1210,03	76,84

Teresina/PI	1,485	1472,95	455,86	28,23
Quixadá/CE	1,486	1474,12	1689,49	82,91
Maceió/AL	1,487	1475,03	196,35	19,11
Fortaleza/CE	1,487	1475,03	868,50	31,27

Pode-se observar que o volume aproveitável tende a um valor de 1475m³, sendo limitado pela capacidade da cistrna de 16m³. O volume transbordado, porém, varia em função do regime pluviométrico e da área de captação. Os maiores volumes transbordados foram observados nas cidades de Juazeiro/BA, Petrolina/PE, Picos/PI, e Quixadá/CE, todas localizadas no semiárido e cujos sistemas demandaram as maiores áreas de captação.

Essa maior perda de água pelo sistema é uma das consequências das caracteristicas pluviométricas do semiárido, marcadas por longos períodos de estiagem e pela concentração das chuvas em aproximadamente três meses do anos. Nesse contexto, a fixação do volume da cisterna associada a uma maior área de captação favorece o transbordamento durante meses de chuva e, possivelmente, períodos prolongados de ociosidade nos meses de estiagem.

CONCLUSÕES

A adoção de cisternas com tamanhos padronizados, embora otimize os processos construtivos, pode acarretar desvantagens para a eficiência dos sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva. Além disso, o uso do telhado das edificações como superfície de captação, sem delimitação de uma área padronizada, resulta em diferentes capacidades de atendimento da demanda hídrica, estipulada em 65L/dia, durante um período de oito meses no caso das cisternas do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC).

Verificou-se que a precipitação é um dos principais fatores determinantes da área de captação necessária para que um sistema atinja seu Coeficiente de Eficiência Volumétrica (CEV) máximo, tendo regiões com maiores alturas pluviométrica demandado áreas menores, e regiões mais secas áreas maiores.

Vale salientar que, em todos os casos analisados, o aumento da área de captação, mantendo-se constantes os valores de demanda e a capacidade da cisterna, resultaria em maiores perdas de água por extravasamento do que em ganhos efetivos de aproveitamento hídrico.

Além disso, diferentes análises de eficiência podem ser realizadas de forma complementar a este estudo, considerando não apenas o volume aproveitável, mas também o tempo de ociosidade e o volume de água perdido pelo sistema diante da utilização de cisternas com volume padronizado.

REFERENCIAS

ARAÚJO, S. M. S. (2021). “As secas e suas consequências sobre os recursos do semiárido brasileiro”. Revista de Geociências do Nordeste 7(1), pp. 52 – 58.

Articulação Semiárido Brasileiro (ASA) (2013). “Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC)”. Folder institucional. Recife, pp. 1 – 20.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (2024). “Resolução CONDEL/SUDENE nº 176, de 3 de janeiro de 2024”. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: Resolução CONDEL/SUDENE nº 176/2024. Acesso em: 19 maio 2026.

BRITO, H. C.; BRITO, Y. M. A.; RUFINO, I. A. A. (2022). “O Índice de Segurança Hídrica do Brasil e o Semiárido Brasileiro: desafios e riscos futuros”. Revista Brasileira de Cartografia 74(1), pp. 1 – 15. DOI: 10.14393/rbcv74n1-60928.

CLIMATE-DATA.ORG (2026). “Climate data for cities worldwide”. Disponível em: Climate-Data.org. Acesso em: 19 maio 2026.

MORAIS, H. A. R.; PAIVA, J. A.; SOUSA, W. J. (2017). “Avaliação do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC): eficácia, eficiência e efetividade nos territórios do Rio Grande do Norte (2003-2015)”. Revista de Políticas Públicas 21(1), pp. 133 – 158.

SANTOS, V. S.; ABRANTES, A. P. (2023). “Avaliação do modelo de cisterna adotado pelo programa um milhão de cisternas no município de Sousa-PB”. Revista DAE 71(242), pp. 217 – 230. DOI: 10.36659/dae.2023.066.

SILVA, C. S. (2023). “Metodologia de dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água de chuva em edificações residenciais no Brasil”. Tese de Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 198 p.

SILVA, C. S.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; ALMEIDA, C. N. (2026). “Performance analysis of reservoirs for rainwater storage”. Urban Water Journal, pp. 1 – 16. DOI: 10.1080/1573062X.2026.2648240.

TOMAZ, P. (2010). “Aproveitamento de água de chuva”. [S. l.]: [s. n.], v. I.

XAVIER, A. C.; SCANLON, B. R.; KING, C. W.; ALVES, A. I. (2022). “New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020)”. International Journal of Climatology. DOI: 10.1002/joc.7731.