

RESUMO EXPANDIDO

DA CHUVA AO RECURSO: POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA A PARTIR DO MAPEAMENTO PLUVIOMÉTRICO DE BELÉM DO PARÁ

Marcos Vinicius Rodrigues Quintairos¹
Eliane de Jesus Miranda Santana²
Ana Beatriz Valente Veríssimo³
Ana Luiza Miranda Lopes Farias⁴
Carlos Vinícius Andrade da Silva⁵
Flávia Kayanne Barbosa de Lima⁶
Gabriela Margarida Rezende Penelva⁷
Maria Luiza Pereira Batista⁸

RESUMO

Este estudo analisa a distribuição espaço-temporal da precipitação no município de Belém e sua relação com o potencial de aproveitamento da água da chuva como estratégia de gestão hídrica. A pesquisa caracteriza-se como quantitativa, exploratória e analítica, baseada na análise de série histórica pluviométrica entre 2015 e 2025. Os dados foram obtidos de estações meteorológicas locais, organizados estatisticamente e espacializados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, permitindo identificar padrões de variabilidade temporal e distribuição espacial das chuvas. A partir desses dados, estimou-se o volume potencial de captação de água de chuva, destacando a viabilidade do armazenamento para usos não potáveis. Os resultados indicam elevada regularidade e volumes de precipitação ao longo do ano, favorecendo a recarga de reservatórios e ampliando o potencial de adoção de sistemas de abastecimento. Conclui-se que a água da chuva representa recurso importante como alternativa ao sistema de abastecimento convencional, e proporcionar sustentabilidade hídrica urbana, desde que associada a planejamento técnico e políticas públicas.

Palavras-chave: precipitação; aproveitamento da água da chuva; gestão hídrica; análise espacial; sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O aproveitamento da água da chuva é uma prática historicamente associada a territórios que enfrentam limitações no abastecimento hídrico, sendo amplamente utilizada como alternativa de adaptação em contextos de escassez. Em ambientes de abundância, essa tecnologia assume papel ainda mais relevante, funcionando como solução complementar diante

¹ Universidade Federal do Pará, Geógrafo, docente, marcosquintairos@ufpa.br

² Universidade Federal do Pará, Geógrafa, docente, elianesantana@ufpa.br

³ Universidade Federal do Pará, discente/anabeatrizvalenteverissimo@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Pará, discente/Analuk007@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Pará, discente/carlos.vinicius@ea.ufpa.br

⁶ Universidade Federal do Pará, discente/limaflavia2008.24@gmail.com

⁷ Universidade Federal do Pará, discente/gabrezend98@gmail.com

⁸ Universidade Federal do Pará, discente/mallu.pbtista@gmail.com

da insuficiência ou inexistência de sistemas convencionais de distribuição. Experiências consolidadas demonstram a viabilidade dessa estratégia, como observados no semiárido brasileiro que adotaram sistemas de captação e armazenamento de água de chuva para garantir segurança hídrica, mostrando que o manejo da chuva pode representar solução viável em diferentes realidades.

No contexto amazônico, essa discussão revela um paradoxo socioambiental. Embora a região seja reconhecida mundialmente pela ampla disponibilidade de água doce superficial, diversas comunidades, especialmente ribeirinhas, insulares e periféricas, enfrentam dificuldades de acesso à água tratada. Tal contradição evidencia que a abundância natural não se traduz automaticamente em segurança hídrica, sobretudo diante de limitações estruturais, logísticas e operacionais dos sistemas de abastecimento. No estado do Pará, parte expressiva dos municípios apresenta distribuição deficitária de água potável, o que reforça a necessidade de soluções complementares que promovam autonomia hídrica e melhoria das condições sanitárias.

A compreensão desse potencial exige a análise integrada do comportamento espaço-temporal da precipitação, uma vez que a eficiência dos sistemas de captação depende diretamente da regularidade e da distribuição das chuvas. Assim, o mapeamento da precipitação constitui ferramenta importante para subsidiar o planejamento de soluções voltadas à gestão hídrica, relacionando dados climáticos com aplicações práticas.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo mapear a precipitação no município de Belém e relacioná-la ao potencial de aproveitamento da água da chuva. A partir de uma abordagem quantitativa com análise espaço-temporal da série histórica pluviométrica e estimativa de volumes captáveis, a pesquisa busca mostrar como a abundância hídrica local pode ser convertida em estratégia de planejamento sustentável, contribuindo para a gestão eficiente da água em ambientes amazônicos.

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza quantitativa, com perspectiva exploratória e analítica, baseado na investigação espaço-temporal do regime de pluviométrico e na avaliação do potencial de aproveitamento da água da chuva no município de Belém. A escolha dessa concepção metodológica resulta da necessidade de compreender padrões atmosféricos mensuráveis e sua relação com aplicações práticas voltadas à gestão hídrica urbana.

Com base nessa estrutura científica, os procedimentos metodológicos foram organizados em quatro momentos complementares.

O primeiro momento consistiu em uma revisão bibliográfica, voltada à compreensão dos aspectos climáticos regionais, da dinâmica hidrológica urbana e das metodologias de aproveitamento da água pluvial. Essa etapa forneceu o embasamento teórico necessário para a interpretação dos dados e a contextualização da pesquisa.

No segundo momento realizou-se o levantamento e organização dos dados de precipitação, obtidos a partir da série histórica mensal de 2015 a 2025, disponibilizada pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden/MCTI). Foram consideradas medições das estações localizadas em Ilha de Mosqueiro, Terra Firme, Nazaré, Ilha de Outeiro, Icoaraci, Vila de Mosqueiro, Cremação e Pedreira. Os dados foram sistematizados em planilhas para cálculo das médias, permitindo a caracterização temporal do regime pluviométrico.

O terceiro momento correspondeu à análise espacial das informações, realizada em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) por meio do programa ArcGIS. Utilizou-se a ferramenta Geostatistical Analyst para interpolação dos dados e geração de mapas temáticos representando a média da precipitação mensal, de janeiro a dezembro, no período de

2015 a 2025. Essa etapa possibilitou visualizar a distribuição espacial das chuvas no território municipal e identificar padrões de variabilidade entre diferentes setores urbanos. Paralelamente, o Microsoft Excel foi utilizado na elaboração de gráficos de precipitação, contribuindo para a análise comparativa e interpretação das tendências temporais.

O quarto momento envolveu a avaliação do potencial de aproveitamento da água da chuva, considerando a relação entre volumes precipitados e áreas de captação. O aproveitamento das chuvas mostra-se viável em edificações com elevado consumo de água não potável, como instituições públicas e educacionais, onde a substituição parcial da água tratada gera economia.

Para estimar o volume potencial de água captável, adotou-se metodologia consolidada na literatura, baseada no cálculo do volume mensal de chuva incidente sobre áreas de cobertura. Como referência de captação, foi considerada uma área equivalente a doze telhas de fibrocimento (244x110cm), área total = 32,208 m², padrão utilizado em construções de interesse social vinculadas ao Ministério do Desenvolvimento Social (MDS). Essa padronização permite estabelecer uma estimativa comparável e aplicável a edificações de pequeno porte, representando uma unidade básica de captação.

O volume potencial foi determinado pela seguinte equação: $V = (P \times A \times C) / 1000$, em que V representa o volume mensal potencialmente captado (m³), P a precipitação mensal (mm), A a área de captação (m²), C o coeficiente de runoff (adimensional) e 1000 o fator de conversão de unidades. Essa etapa permitiu relacionar a disponibilidade pluviométrica com a viabilidade técnica do aproveitamento da água pluvial como estratégia de gestão hídrica urbana.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise da série histórica de precipitação entre 2015 a 2025 revela que o município de Belém apresenta um regime pluviométrico caracterizado por elevados volumes anuais e relativa regularidade temporal, condição típica do clima equatorial úmido. Os dados indicam médias anuais superiores a 2.800 mm, com concentração das chuvas entre dezembro e maio, período responsável pela maior parcela do total anual. Ainda que haja redução relativa da precipitação nos meses seguintes, não se observa uma estação seca bem definida, o que garante continuidade na disponibilidade hídrica ao longo do ano.

Do ponto de vista quantitativo, essa regularidade se traduz em condições altamente favoráveis à captação de água de chuva. A aplicação da equação de estimativa do volume captável, considerando uma área de referência equivalente a doze telhas de cobertura, demonstrou que mesmo superfícies reduzidas podem gerar grandes volumes de armazenamento mensal. Em meses de maior precipitação, os valores estimados indicam recarga frequente dos reservatórios, enquanto no período de menor chuva os volumes permanecem suficientes para sustentar usos não potáveis, como limpeza, irrigação e descargas sanitárias.

A espacialização dos dados pluviométricos, obtida por meio de análise geoestatística, mostrou uma distribuição homogênea da precipitação entre os diferentes setores das estações monitoradas. Essa homogeneidade sugere que o potencial de aproveitamento da água da chuva não se restringe a áreas específicas, ampliando a viabilidade de implantação descentralizada de sistemas de captação no município. Embora variações locais possam ocorrer em função de fatores microclimáticos e da dinâmica urbana, o padrão geral reforça a estabilidade do regime pluviométrico.

A interpretação desses resultados aponta que a abundância pluviométrica local representa uma oportunidade concreta de gestão da água. A captação da água da chuva pode reduzir a dependência do abastecimento convencional, especialmente para usos não potáveis, contribuindo para economia hídrica e financeira. Em paralelo, a retenção de parte do volume

precipitado atua como mecanismo complementar de mitigação do escoamento superficial, aspecto relevante em um contexto urbano frequentemente sujeito a alagamentos.

Entretanto, a disponibilidade hídrica não garante, por si só, aproveitamento. A eficiência do sistema depende de fatores como dimensionamento dos reservatórios, manutenção das estruturas de captação, o tratamento e o controle de qualidade da água. Sem esses elementos, a tecnologia pode ser subutilizada ou perder parte de sua capacidade de contribuição social.

Outro ponto relevante refere-se à escala de aplicação. Embora o cálculo com área padronizada demonstre viabilidade técnica em pequenas estruturas, edificações com maior demanda hídrica exigem planejamento para compatibilizar consumo e armazenamento. Assim, os dados obtidos devem ser interpretados como base para dimensionamento preliminar, passível de adaptação conforme o perfil de uso.

Do ponto de vista prático, os resultados fornecem subsídios para implantação de sistemas de captação em residências, escolas e prédios públicos, onde a substituição parcial da água tratada pode gerar benefícios econômicos. A previsibilidade do regime de chuvas permite estimar volumes de armazenamento compatíveis com a demanda local, favorecendo projetos tecnicamente viáveis.

Assim, a integração entre análise quantitativa, leitura espacial e discussão crítica demonstra que o regime pluviométrico de Belém oferece condições favoráveis para o aproveitamento sistemático da água da chuva. Mais do que um fenômeno climático recorrente, a precipitação constitui uma unidade de recurso com potencial de planejamento, capaz de contribuir para a gestão urbana e rural quando associado a estratégias técnicas e políticas públicas.

APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA NO CONTEXTO CLIMÁTICO DE BELÉM

A viabilidade do aproveitamento da água da chuva está diretamente relacionada às condições climáticas locais, principalmente ao regime pluviométrico. Em regiões com elevada precipitação anual, como Belém, a água da chuva representa uma unidade de recurso abundante e previsível, o que aumenta o potencial de implantação de sistemas de captação. O clima equatorial úmido predominante favorece a ocorrência de chuvas frequentes ao longo do ano, com concentração sazonal no período mais chuvoso, mas sem a caracterização de uma estação seca rigorosa. Esse comportamento climático cria condições favoráveis para a implantação de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC).

Os dados pluviométricos analisados no período de 2015 a 2025 revelam elevados volumes médios mensais de precipitação e relativa regularidade temporal, fatores que contribuem para a recarga recorrente de reservatórios e para a estabilidade do sistema de captação. Mesmo nos meses de menor precipitação, os volumes registrados permanecem suficientes para manter a funcionalidade do armazenamento, reduzindo a dependência exclusiva do abastecimento convencional. Essa regularidade reforça o que Ghisi (2006) aponta sobre a importância da disponibilidade hídrica para a eficiência dos sistemas de captação, demonstrando que contextos com alta precipitação ampliam o retorno técnico dessas tecnologias.

Do ponto de vista urbano, a adoção de sistemas de aproveitamento da água de chuva em Belém apresenta benefícios que vão além da economia de água tratada. Conforme discutido por Santos e Taveira-Pinto (2013), a substituição parcial do consumo de água potável por água de chuva reduz a pressão sobre os sistemas públicos de abastecimento. Em cidades com regime pluviométrico intenso, como a capital paraense, essa estratégia também contribui para

minimizar o escoamento superficial, aspecto relevante para a mitigação de alagamentos, problema recorrente em ambientes urbanos amazônicos.

A captação de água da chuva funciona como instrumento de adaptação às variabilidades climáticas e às pressões socioambientais (Campisano et al., 2017; Yannopoulos et al., 2019). No caso de Belém, onde os resultados indicam distribuição relativamente homogênea da precipitação entre os diferentes setores urbanos, a tecnologia mostra-se aplicável em múltiplos contextos territoriais.

Além disso, como apontam Gnadlinger (2011; 2015), a simplicidade operacional e o baixo custo relativo dos sistemas de captação favorecem sua adaptação a realidades diversas. Em uma região amazônica marcada por contrastes entre abundância hídrica e limitações de acesso à água de qualidade, cenário discutido por Bordalo (2006) e Veloso (2019), o aproveitamento da água de chuva assume um papel importante na promoção de água segura para o consumo potável e não potável.

Dessa forma, a elevada disponibilidade hídrica observada reforça o potencial de captação, relevando que a água da chuva pode ser incorporada como recurso complementar capaz de possibilitar eficiência hídrica, redução de impactos urbanos e a resiliência socioambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise do regime de chuvas mostrou que o contexto atmosférico de Belém oferece condições favoráveis ao aproveitamento da água da chuva. A elevada média anual de precipitação, associada à regularidade temporal das chuvas, confirma que a disponibilidade hídrica local é suficiente para sustentar sistemas de captação voltados a usos não potáveis. Os resultados obtidos revelam que mesmo áreas reduzidas de cobertura possuem capacidade de gerar volumes de armazenamento, o que reforça a viabilidade técnica da adoção de sistemas em edificações residenciais e institucionais.

O aproveitamento da água da chuva representa uma fonte de abastecimento complementar para redução do sobre o abastecimento convencional. A interpretação dos dados indica que a água da chuva pode deixar de ser percebida apenas como elemento climático recorrente e passar a constituir recurso de planejamento urbano.

Entretanto, a efetividade dessa prática depende de dimensionamento adequado dos sistemas, manutenção das estruturas e integração com políticas públicas voltadas à gestão do saneamento básico. Sem esses elementos, o potencial identificado tende a permanecer subaproveitado.

Conclui-se que a abundância pluviométrica local representa uma oportunidade concreta de inovação na gestão da água, capaz de gerar benefícios econômicos, ambientais e sociais. A incorporação dessa tecnologia em projetos urbanos e educacionais pode fortalecer a resiliência social e estimular práticas sustentáveis, contribuindo para uma relação mais equilibrada entre sociedade, infraestrutura urbana e dinâmica climática.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. da C. G. de. **Aproveitamento de água da chuva para abastecimento em área rural na Amazônia: estudo de caso: Ilha Grande e Murutucu, Belém – Pará.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2012.

ARSKY, I. da C. **Os efeitos do Programa Cisternas no acesso à água no semiárido.** *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 55, p. 408–432, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v55i0.73378>. Acesso em: 17 abr. 2023.

BIAZIN, B. et al. **Rainwater harvesting and management in rainfed agricultural systems in sub-Saharan Africa – A review.** *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 47–48, p. 139–151, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.08.015>. Acesso em: 16 abr. 2023.

BORDALO, C. A. L. **O desafio das águas numa metrópole amazônica: uma reflexão das políticas de proteção dos mananciais da Região Metropolitana de Belém-PA (1984–2004).** 2006. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2006. Disponível em: <https://www.ppgdstu.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/teses/TESES/2006/CARLOS%20ALEXANDRE%20LE%20C3%83O%20BORDALO.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2023.

CAMPISANO, A. et al. **Urban rainwater harvesting systems: research, implementation and future perspectives.** *Water Research*, v. 115, p. 195–209, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>. Acesso em: 16 abr. 2023.

DIAS, A. D. e. **Sustentabilidade de tecnologias sociais de abastecimento de água de chuva: o caso de comunidades insulares de Belém – PA.** 2013. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais e Desenvolvimento Local na Amazônia) — Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPA_4eb5b20105208cbddc572f660c0f20a6. Acesso em: 3 mar. 2023.

FLORES, R. A. et al. **Potencial de captação de água da chuva para abastecimento: o caso da cidade de Belém (PA, Brasil).** *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 8, n. 2, p. 69–80, 2012.

GHISI, E.; BRESSAN, D. L.; MARTINI, M. **Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil.** *Building and Environment*, v. 42, n. 4, p. 1654–1666, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132306000448>. Acesso em: 2 maio 2023.

GNADLINGER, J. **Água de chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas.** In: *Captação, manejo e uso de água de chuva*. Campina Grande: INSA/ABCMAC, 2015. Disponível em: https://irpaa.org/fotos/file/gnadlinger_captacao_chuva_compressed.pdf. Acesso em: 30 abr. 2023.

KOBIYAMA, M.; CHECCHIA, T.; SILVA, R. V. da. **Tecnologias alternativas para aproveitamento de águas.** Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2005.

LO, A. G.; GOULD, J. Rainwater harvesting: global overview. In: ZHU, Q. et al. (ed.). *Rainwater harvesting for agriculture and water supply*. Singapore: Springer, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-287-964-6_7. Acesso em: 16 abr. 2023.

MANKAD, A.; TAPSUWAN, S. **Review of socio-economic drivers of community acceptance and adoption of decentralised water systems.** *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 3, p. 380–391, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.037>. Acesso em: 2 maio 2023.

MANO, R. S. **Captação residencial de água de chuva para fins não potáveis em Porto Alegre**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MOTSI, H.; MOLAPO, M.; PHIRI, E. E. **A review of the adaptive capacity of sweet sorghum to improve food security and poverty alleviation in sub-Saharan Africa**. *South African Journal of Botany*, v. 150, p. 323–329, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.07.040>. Acesso em: 16 abr. 2023.