

GESTÃO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA EM INSTITUIÇÃO DE ENSINO: POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO IFPA – CAMPUS CASTANHAL

SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT IN AN EDUCATIONAL INSTITUTION:
RAINWATER HARVESTING POTENTIAL AT IFPA – CASTANHAL CAMPUS

Eldeenaldo Ferreira da Silva¹
Lilian Kelly Rodrigues Silva²
Kelly Kamilly Rodrigues da Silva³
Diego Rebessi Carvalho⁴
Taciana Mara Rezende Fortes Viegas⁵
Paulo Fortes Neto⁶

RESUMO: O aproveitamento de águas pluviais em edificações públicas constitui uma alternativa para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para a redução do consumo de água potável em usos que não exigem essa qualidade. Este estudo avaliou o potencial hídrico da água da chuva incidente sobre a cobertura de um bloco pedagógico de três pavimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) – Campus Castanhal. Foram considerados uma área de cobertura de 693 m², dados mensais de precipitação referentes ao período de 2021 a 2025 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 720 usuários diários, consumo de referência de 6 L/pessoa/dia e 22 dias de funcionamento por mês. A precipitação média anual do período, obtida pela soma das médias mensais, foi de 1.909,16 mm. O volume de água pluvial foi estimado a partir da precipitação e da área de cobertura. Os resultados indicaram volume bruto anual estimado de 1.323,05 m³, frente a uma demanda anual de 1.140,48 m³, correspondendo a uma relação volumétrica oferta/demanda de 116,0% e saldo anual teórico positivo de 182,57 m³. Na análise mensal, foram identificados superávits em fevereiro, março, abril, maio e julho, enquanto os demais meses apresentaram déficit. Os resultados demonstram o potencial da cobertura estudada para subsidiar a implantação de estratégias de aproveitamento de águas pluviais destinadas a usos não potáveis, contribuindo para práticas de gestão sustentável da água no ambiente institucional.

Palavras-chave: captação de água da chuva. uso não potável. precipitação anual. sustentabilidade hídrica.

¹ Geógrafo pela UFPA, Pedagogo pela Unita, Mestre Ciências Ambientais, Doutorando Ciências da Saúde pela Unita, Docente IFPA.

² Licenciada em História pela UEMA, Bacharel em Fisioterapia, Especialista em metodologia.

³ Bacharel em Direito pela Unama, graduando em Farmácia, Especializanda Direito do Trabalho.

⁴ Dentista, Mestre Ciências da Saúde, Doutorando Ciências da Saúde pela Unita.

⁵ Médica, Mestre em Endocrinologia, Doutoranda em Ciências da Saúde pela Unita, docente Unita.

⁶ Engenheiro Agrônomo, Mestrado Microbiologia Agrícola e do Ambiente Doutor em Agronomia, Docente Unita.

ABSTRACT: Rainwater harvesting in public buildings is an alternative for sustainable water resources management and for reducing potable water consumption in uses that do not require this quality. This study evaluated the water potential of rainfall incident on the roof of a three-story teaching building at the Federal Institute of Education, Science and Technology of Pará (IFPA) – Castanhal Campus. A roof area of 693 m², monthly precipitation data for 2021–2025 from the National Institute of Meteorology (INMET), 720 daily users, a reference consumption of 6 L/person/day, and 22 operating days per month were considered. The mean annual precipitation for the period, obtained from the sum of monthly averages, was 1,909.16 mm. Rainwater volume was estimated from precipitation and roof area. The results indicated an estimated annual gross volume of 1,323.05 m³ compared with an annual demand of 1,140.48 m³, corresponding to a volumetric supply/demand ratio of 116.0% and a positive theoretical annual balance of 182.57 m³. In the monthly analysis, surpluses were identified in February, March, April, May, and July, whereas the remaining months showed deficits. The results demonstrate the potential of the studied roof area to support the implementation of rainwater harvesting strategies for non-potable uses, contributing to sustainable water management practices in the institutional environment.

Keywords: rainwater harvesting. non-potable use. annual precipitation. water sustainability.

INTRODUÇÃO

A crescente pressão sobre os recursos hídricos decorrente do aumento da demanda por água, da urbanização acelerada e das alterações nos padrões climáticos tem intensificado a busca por estratégias capazes de promover o uso sustentável da água e reduzir a dependência dos sistemas convencionais de abastecimento. Nesse contexto, o aproveitamento de águas pluviais destaca-se como uma alternativa técnica e ambientalmente viável para complementar o suprimento hídrico em edificações, especialmente para usos que não requerem água potável.

Em edificações públicas e institucionais, a utilização de água da chuva para atividades como descargas sanitárias, limpeza de ambientes e lavagem de pisos pode contribuir significativamente para a redução do consumo de água tratada, promovendo maior eficiência no uso dos recursos hídricos e reduzindo custos operacionais. Além disso, a adoção desses sistemas favorece a conservação dos mananciais e fortalece práticas voltadas à sustentabilidade ambiental.

As instituições de ensino apresentam características que favorecem a implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, uma vez que geralmente possuem áreas de cobertura expressivas e demanda regular por água para usos não potáveis. Entretanto, a viabilidade desses sistemas depende de fatores como o regime pluviométrico local, a área disponível para captação, o perfil de consumo da edificação e a capacidade de armazenamento do reservatório.

O município de Castanhal, localizado na região nordeste do Estado do Pará, apresenta índices pluviométricos elevados ao longo do ano, embora distribuídos de forma sazonal. Essa característica sugere potencial para o aproveitamento da água da chuva em edificações públicas, desde que sejam realizados estudos capazes de relacionar a disponibilidade hídrica local com a demanda de consumo das instalações.

Nesse sentido, torna-se relevante avaliar o potencial de captação de águas pluviais em edificações escolares, considerando que tais informações podem subsidiar ações de planejamento, gestão sustentável da água e tomada de decisão por parte dos gestores institucionais. Além dos benefícios ambientais, iniciativas dessa natureza podem contribuir para a redução da demanda sobre os sistemas públicos de abastecimento e para o fortalecimento de políticas institucionais de sustentabilidade.

Partiu-se da hipótese de que a área de cobertura do bloco pedagógico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) – Campus Castanhal apresenta potencial para captar volume significativo de água pluvial ao longo do ano, capaz de atender total ou parcialmente à demanda por água não potável da edificação.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o potencial hídrico do aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis em um bloco pedagógico do IFPA – Campus Castanhal, com base nos valores pluviométricos utilizados no estudo, na área disponível para captação e em uma estimativa de demanda hídrica da edificação.

SEGURANÇA REFERENCIAL TEÓRICO

Recursos hídricos hídrica e uso sustentável da água

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2023), a disponibilidade e a gestão dos recursos hídricos apresentam diferenças espaciais e temporais relevantes no território brasileiro. A pressão exercida pelos usos múltiplos da água, pelas transformações territoriais e pelos eventos hidrológicos extremos reforça a necessidade de estratégias de conservação, planejamento e uso eficiente da água.

O Brasil apresenta elevada disponibilidade hídrica em termos agregados, porém distribuída de forma heterogênea no território. Essa condição, associada a secas, inundações e outros riscos relacionados à água, torna a resiliência hídrica um tema estratégico para a gestão pública (OCDE, 2022).

Nesse contexto, a segurança e a resiliência hídricas envolvem a capacidade de gerir riscos relacionados à quantidade e à qualidade da água, conciliando necessidades sociais, econômicas e ambientais. A diversificação de fontes e o aumento da eficiência do uso da água podem integrar estratégias de redução de vulnerabilidades (OCDE, 2022).

Entre as estratégias voltadas ao fortalecimento da segurança hídrica, o aproveitamento de águas pluviais tem recebido crescente atenção por permitir o uso de uma fonte alternativa de abastecimento, reduzindo a dependência dos sistemas convencionais de distribuição e contribuindo para a conservação dos mananciais naturais.

Aproveitamento de águas pluviais em edificações

O aproveitamento de águas pluviais consiste na captação, condução, armazenamento e utilização da água da chuva para diferentes finalidades, especialmente usos não potáveis, como descargas sanitárias, limpeza predial, irrigação de áreas verdes e lavagem de pisos.

No Brasil, a ABNT NBR 15527:2019 estabelece requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis. A norma contempla aspectos relacionados à captação, ao tratamento, ao armazenamento e aos usos não potáveis admissíveis, além de apresentar procedimento para estimativa da disponibilidade teórica de água de chuva.

4

Além da substituição parcial de água potável, sistemas de aproveitamento de água da chuva podem apresentar benefícios econômicos e contribuir para reduzir volumes encaminhados à drenagem urbana. Em estudo de edifício multifamiliar, Ghisi e Freitas (2024) avaliaram conjuntamente viabilidade financeira, economia de água e redução do escoamento destinado ao sistema de drenagem, demonstrando que o desempenho depende das características específicas da edificação e do sistema.

Esses benefícios, contudo, não devem ser generalizados automaticamente para qualquer edificação. A economia de água, o efeito sobre a drenagem e a viabilidade econômica dependem da demanda, do regime pluviométrico, do armazenamento, dos custos de implantação e das condições de operação (Ghisi; Freitas, 2024).

Nesse sentido, o aproveitamento de águas pluviais pode integrar estratégias de gestão sustentável da água e de infraestrutura predial, desde que seu desempenho seja avaliado de forma compatível com as condições locais e com os requisitos técnicos aplicáveis.

Consumo de água em instituições de ensino e potencial de substituição por água pluvial

A compreensão dos padrões de consumo de água constitui etapa fundamental para a avaliação da viabilidade técnica de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Em edificações educacionais, o consumo está diretamente associado ao número de usuários, ao tempo de permanência, às características das instalações hidrossanitárias e aos hábitos de utilização da água.

Estudos em instituições de ensino mostram ampla variação dos indicadores de consumo. Nunes, Wanderley e Silva (2017), em nove escolas públicas do Recife, encontraram indicadores entre 7,27 e 37,96 L/aluno/dia, evidenciando a influência das características operacionais, das instalações e de perdas por vazamentos.

Em escolas municipais de Joinville (SC), Medeiros et al. (2025), com dados de consumo referentes a 2022, obtiveram média de 7,58 L/aluno/dia. Em outro contexto educacional, Custódio e Ghisi (2024) encontraram consumo per capita de 5,38 L/pessoa/dia em edifício universitário e identificaram participação expressiva das descargas sanitárias no consumo. Esses valores são úteis como referências comparativas, mas não substituem medições específicas do bloco estudado.

Assim, o valor de 6 L/pessoa/dia empregado neste artigo deve ser interpretado como

5

Eficiência hídrica e tecnologias economizadoras

A eficiência hídrica corresponde ao conjunto de estratégias destinadas à redução do consumo de água sem prejuízo ao desempenho das atividades desenvolvidas nas edificações. Entre as medidas mais utilizadas destacam-se a instalação de equipamentos economizadores, o monitoramento do consumo e a adoção de práticas de uso racional da água.

Gnoatto, Kalbusch e Henning (2023), ao avaliarem o consumo de água em um edifício de campus universitário, demonstraram a utilidade da medição de usos finais para orientar ações de conservação. Em estudo anterior das mesmas autoras, a substituição de mecanismos de descarga simples por duplo acionamento esteve associada à redução do consumo em bacias sanitárias (Gnoatto; Kalbusch; Henning, 2020).

Essas evidências reforçam que medidas de eficiência hídrica podem atuar de forma complementar ao aproveitamento de água da chuva: a redução da demanda tende a ampliar a

participação relativa que uma fonte alternativa pode alcançar no atendimento dos usos não potáveis.

Sustentabilidade, saúde pública e políticas de gestão da água

O conceito contemporâneo de desenvolvimento sustentável consolidou-se internacionalmente a partir da formulação que articula atendimento das necessidades presentes e preservação das possibilidades das gerações futuras (WCED, 1987).

A dimensão ambiental da gestão hídrica também se relaciona diretamente à promoção da saúde. A Lei nº 8.080/1990 reconhece que fatores como saneamento básico, condições ambientais e acesso à água influenciam diretamente os níveis de saúde da população. Nessa perspectiva, o uso racional da água e a adoção de tecnologias sustentáveis contribuem para a melhoria das condições ambientais e para a prevenção de riscos associados à escassez hídrica.

Em instituições de ensino, tais iniciativas apresentam ainda relevante caráter educativo. A Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999) destaca a importância da formação de valores, conhecimentos e atitudes voltados à conservação ambiental, favorecendo a construção de uma cultura institucional comprometida com a sustentabilidade.

Por fim, o aproveitamento de águas pluviais está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas, especialmente ao ODS 6, que visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água, e ao ODS 3, relacionado à promoção da saúde e do bem-estar (ONU, 2015). Dessa forma, sistemas de captação e uso de água da chuva contribuem para o alcance de metas globais associadas à segurança hídrica, à sustentabilidade ambiental e à qualidade de vida.

6

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso de natureza aplicada, com abordagem quantitativa, desenvolvido no bloco pedagógico de três pavimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) – Campus Castanhal. O objetivo foi avaliar o potencial hídrico teórico do aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis na edificação, a partir da relação entre oferta hídrica pluvial, área de captação e demanda de consumo interno.

A metodologia foi desenvolvida nas etapas descritas a seguir:

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A unidade analisada corresponde a um bloco pedagógico de três pavimentos, composto por 12 salas de aula por turno, com 30 alunos por sala, totalizando uma ocupação estimada de 720 usuários/dia, considerando 360 usuários no turno da manhã e 360 no turno da tarde.

A área de cobertura destinada à captação de águas pluviais foi de 693 m², sendo considerada integralmente para fins de estimativa do potencial hídrico disponível. A Figura 1 apresenta a área do telhado do bloco pedagógico do IFPA – Campus Castanhal e a localização da edificação na instituição.

Figura 1 – Área do telhado do bloco pedagógico do IFPA – Campus Castanhal e localização do prédio na instituição.



incidente sobre a cobertura, sem dimensionamento de reservatório ou de componentes hidráulicos.

Também foram considerados estudos sobre consumo de água em edificações institucionais, os quais indicam valores médios reduzidos quando há adoção de práticas de uso racional e equipamentos hidrossanitários eficientes. Para a estimativa da demanda de água não potável, foram considerados os seguintes parâmetros:

Usuários totais: 720 pessoas/dia.

Consumo médio adotado: 6 litros/pessoa/dia ($0,006 \text{ m}^3/\text{pessoa}/\text{dia}$). Para a estimativa mensal, adotaram-se 22 dias de funcionamento por mês, totalizando 264 dias de funcionamento no ano. A demanda diária (DD) foi obtida pela multiplicação do número de usuários pelo consumo diário per capita adotado.

$DD = 720 \times 0,006 = 4,32 \text{ m}^3/\text{dia}.$

Demanda mensal estimada: $4,32 \times 22 = 95,04 \text{ m}^3/\text{mês}.$

Demanda anual estimada: $95,04 \times 12 = 1.140,48 \text{ m}^3/\text{ano}.$

Análise pluviométrica

Os dados pluviométricos utilizados no estudo correspondem a cinco anos consecutivos de registros, de 2021 a 2025, provenientes dos arquivos históricos anuais oficiais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes à estação meteorológica automática de Castanhal (PA), código A202. A partir desses registros, foram calculados os totais mensais de cada ano e, em seguida, as médias mensais do período de cinco anos, utilizadas nos cálculos deste estudo.

8

Estimativa do volume bruto de água pluvial incidente sobre a cobertura

O volume bruto mensal de água pluvial incidente sobre a cobertura foi calculado a partir da precipitação média mensal e da área de captação de 693 m^2 . Por se tratar de uma avaliação exploratória do potencial pluviométrico bruto, não foram aplicados coeficiente de escoamento superficial (C), coeficiente de runoff, fator de descarte inicial ou eficiência global de captação (η). Em termos matemáticos, o cálculo bruto equivale a considerar $C = 1,00$ e $\eta = 1,00$ exclusivamente para quantificar a chuva incidente sobre a cobertura; esses valores não representam o desempenho esperado de um sistema real.

O volume bruto mensal foi estimado pela equação:

$$VM = (P \times A) / 1000$$

Onde: VM = volume bruto mensal de água pluvial incidente sobre a cobertura (m³); P = precipitação média mensal (mm); A = área de cobertura (m²); e 1000 = fator de conversão, pois 1 mm de precipitação sobre 1 m² corresponde a 1 L de água, ou 0,001 m³.

Os volumes foram calculados em planilha eletrônica, permitindo a obtenção do volume bruto mensal e anual associado à precipitação sobre a cobertura.

Para cada mês, aplicou-se diretamente a precipitação registrada à área de 693 m², mantendo a precipitação em milímetros e convertendo o resultado final para metros cúbicos.

Onde: VM = volume bruto mensal (m³); P = precipitação mensal (mm); A = área de cobertura (m²). Os valores representam potencial hídrico bruto e não incorporam perdas de escoamento, descarte inicial, evaporação, extravasamento ou eficiência de um sistema de captação.

Quadro 1 – Equações e definições utilizadas nos cálculos

Indicador	Expressão e definição
Volume bruto mensal	$VM = (P \times A) / 1000$ VM = volume bruto mensal (m ³); P = precipitação média mensal (mm); A = área de cobertura (m ²).
Demanda diária	$DD = N \times q$ N = número de usuários; q = consumo de referência por usuário (m ³ /pessoa/dia).
Demanda mensal	$DM = DD \times d$ d = 22 dias de funcionamento por mês no cenário adotado.
Balanco mensal simplificado	$BM = VM - DM$
Relação oferta/demanda anual	$R = (VA / DA) \times 100$ VA = volume bruto anual; DA = demanda anual.
Saldo anual teórico	$S = VA - DA$

Nota: as expressões representam o cenário de cálculo adotado neste estudo. O volume de chuva é bruto e não incorpora coeficientes de perdas ou eficiência de captação.

Premissas, coeficientes e limitações do cálculo.

Os cálculos adotam quatro premissas centrais: (i) área de cobertura constante de 693 m²; (ii) precipitação representada pelas médias mensais da série 2021–2025 da estação automática de Castanhal (A202); (iii) ocupação de 720 usuários/dia; e (iv) consumo de referência de 6

L/pessoa/dia durante 22 dias de funcionamento por mês. Os dois últimos parâmetros constituem um cenário estimativo e não resultam de medição direta do consumo não potável no bloco pedagógico.

A opção por apresentar o volume bruto permite comparar, de forma transparente, a chuva incidente sobre a cobertura com a demanda estimada. Para um sistema real, o volume útil deverá ser recalculado com coeficientes e perdas compatíveis com o material da cobertura, descarte das primeiras águas, eficiência de filtros e condutores, extravasamentos e demais condições operacionais. Assim, a relação anual de 116,0% não corresponde a uma eficiência de atendimento de 116,0%, mas apenas à razão entre o volume pluviométrico bruto anual e a demanda anual estimada.

O estudo também não dimensiona reservatório, não realiza simulação diária de armazenamento, não avalia qualidade da água, custos de implantação e manutenção nem retorno econômico. Consequentemente, os resultados devem ser interpretados como diagnóstico preliminar de potencial hídrico, adequado para subsidiar uma etapa posterior de projeto e dimensionamento técnico.

Análise do potencial hídrico teórico.

10

O potencial hídrico teórico foi avaliado pela comparação entre o volume bruto anual de precipitação incidente sobre a cobertura e a demanda anual estimada da edificação, complementada pela análise da distribuição mensal entre oferta e demanda.

A análise sazonal permitiu identificar períodos de excedente e déficit hídrico e evidenciar a importância do armazenamento. Entretanto, o percentual efetivamente atendido somente poderá ser determinado mediante simulação de reservatório com capacidade definida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potencial de captação de águas pluviais.

A partir da área de cobertura de 693 m², foi estimado o volume bruto de água pluvial incidente sobre o bloco pedagógico com base nos valores médios mensais de precipitação utilizados para o período de 2021 a 2025. Não foram aplicados coeficientes de redução nesta etapa, de modo que os resultados expressam a disponibilidade pluviométrica teórica bruta sobre a cobertura.

Os resultados evidenciam forte influência da sazonalidade climática sobre a disponibilidade hídrica. As maiores médias mensais de precipitação ocorreram em março (341,12 mm), fevereiro (320,04 mm), maio (303,24 mm) e abril (298,52 mm), resultando também nos maiores volumes brutos incidentes sobre a cobertura. No segundo semestre, os volumes foram em geral menores, embora julho tenha apresentado oferta praticamente equivalente à demanda mensal estimada.

A Tabela 1 apresenta os totais mensais de precipitação registrados em cada ano da série 2021–2025 e as respectivas médias mensais do período. A organização desses dados permite visualizar a variabilidade interanual das chuvas e evidencia a concentração das maiores médias entre fevereiro e maio, com destaque para março, que apresentou a maior média mensal (341,12 mm). Esses valores constituem a base pluviométrica utilizada nos cálculos do potencial de aproveitamento de água da chuva neste estudo.

Tabela 1 – Precipitação mensal e média do período 2021–2025 (mm)

Mês	2021	2022	2023	2024	2025	Média 2021–2025
Janeiro	14,8	114,0	85,8	49,6	6,0	54,04
Fevereiro	27,0	99,8	338,4	436,8	453,2	320,04
Março	23,4	254,0	248,2	426,8	544,2	341,12
Abril	23,8	289,2	192,8	385,6	388,2	298,52
Maio	25,6	388,2	222,6	339,2	310,6	303,24
Junho	37,6	84,6	121,4	165,8	175,6	117,00
Julho	19,0	18,2	142,8	72,0	256,2	137,44

Mês	2021	2022	2023	2024	2025	Média 2021–2025
Agosto	25,6	107,0	14,6	64,0	123,2	66,88
Setembro	167,4	74,0	62,4	26,8	43,6	74,84
Outubro	6,4	50,6	70,6	41,8	89,2	51,72
Novembro	12,4	16,8	81,8	6,2	26,0	28,64
Dezembro	54,0	10,6	236,0	170,6	107,2	115,68

Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados históricos anuais do INMET, estação automática de Castanhal (A202), 2021–2025.

A Tabela 2 apresenta os volumes brutos mensais calculados a partir das médias mensais de precipitação e da área de cobertura de 693 m².

Tabela 2 – Precipitação média mensal e volume bruto de água pluvial incidente sobre a cobertura

Mês	Precipitação (mm)	Volume bruto (m ³)
Janeiro	54,04	37,45
Fevereiro	320,04	221,79
Março	341,12	236,40
Abril	298,52	206,87
Maio	303,24	210,15
Junho	117,00	81,08
Julho	137,44	95,25
Agosto	66,88	46,35
Setembro	74,84	51,86
Outubro	51,72	35,84

Mês	Precipitação (mm)	Volume bruto (m ³)
Novembro	28,64	19,85
Dezembro	115,68	80,17

Fonte: elaborado pelos autores com base nos dados do INMET (2021–2025) e na área de cobertura de 693 m².

A soma das médias mensais de precipitação do período 2021–2025 corresponde a 1.909,16 mm. Aplicada à área de cobertura de 693 m², essa precipitação resulta em volume bruto anual de aproximadamente 1.323,05 m³, com média mensal de 110,25 m³.

Março apresentou o maior volume bruto mensal, com 236,40 m³, seguido de fevereiro (221,79 m³), maio (210,15 m³) e abril (206,87 m³). Novembro apresentou o menor volume, com 19,85 m³, seguido de outubro (35,84 m³) e janeiro (37,45 m³), evidenciando a sazonalidade da disponibilidade pluviométrica.

Demanda de água não potável.

Considerando 720 usuários por dia, consumo estimado de 6 L/pessoa/dia para usos não potáveis e 22 dias de funcionamento por mês, a demanda hídrica estimada da edificação foi calculada em:

Demanda diária: 4,32 m³/dia; demanda mensal: 95,04 m³/mês; demanda anual: 1.140,48 m³/ano.

A Tabela 3 apresenta a estimativa da demanda hídrica não potável adotada no cenário analisado, permitindo sua comparação com o potencial de captação pluvial.

Tabela 3 – Estimativa da demanda hídrica não potável adotada no estudo

Indicador	Valor
Usuários/dia	720
Consumo (L/pessoa/dia)	6
Demanda diária	4,32 m ³
Demanda mensal (22 dias)	95,04 m ³
Demanda anual (264 dias)	1.140,48 m ³

Fonte: elaborado pelos autores com base no cenário de demanda adotado no estudo.

Balanço hídrico mensal

A análise do balanço entre oferta e demanda permitiu avaliar preliminarmente o comportamento do sistema ao longo do ano. A Tabela 4 apresenta o balanço hídrico mensal simplificado.

Tabela 4 – Balanço hídrico mensal simplificado entre oferta pluvial e demanda estimada

Mês	Volume bruto (m ³)	Demanda (m ³)	Balanço (m ³)
Janeiro	37,45	95,04	-57,59
Fevereiro	221,79	95,04	+126,75
Março	236,40	95,04	+141,36
Abril	206,87	95,04	+111,83
Maio	210,15	95,04	+115,11
Junho	81,08	95,04	-13,96
Julho	95,25	95,04	+0,21
Agosto	46,35	95,04	-48,69
Setembro	51,86	95,04	-43,18
Outubro	35,84	95,04	-59,20
Novembro	19,85	95,04	-75,19
Dezembro	80,17	95,04	-14,87

Fonte: elaborado pelos autores a partir do volume bruto mensal e da demanda mensal estimada.

Observa-se superávit volumétrico bruto em fevereiro, março, abril, maio e julho. Em julho, o saldo é praticamente nulo (+0,21 m³). Nos demais meses predominam déficits em relação à demanda mensal estimada, mais acentuados em novembro, outubro e janeiro.

Esse comportamento evidencia a importância do armazenamento dos excedentes do período mais chuvoso. Entretanto, como não foi simulada uma capacidade específica de

reservatório, os excedentes mensais não podem ser considerados automaticamente disponíveis para compensar déficits posteriores.

Potencial técnico do sistema.

A comparação entre oferta anual potencial e demanda anual estimada fornece uma medida preliminar do potencial hídrico do sistema. A Tabela 5 apresenta a síntese anual.

Tabela 5 – Síntese anual da oferta pluvial e da demanda hídrica estimada

Parâmetro	Valor
Volume bruto anual sobre a cobertura	1.323,05 m ³ /ano
Demanda não potável estimada	1.140,48 m ³ /ano
Saldo volumétrico anual teórico	+182,57 m ³ /ano
Relação volumétrica bruta oferta/demanda anual	116,0%

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos resultados do estudo.

A comparação entre o volume bruto anual de precipitação sobre a cobertura (1.323,05 m³) e a demanda anual estimada (1.140,48 m³) resulta em relação volumétrica bruta oferta/demanda de aproximadamente 116,0%, com saldo anual teórico de +182,57 m³.

Esse resultado demonstra que, em termos estritamente volumétricos anuais, a precipitação bruta incidente sobre a cobertura supera a demanda estimada no cenário analisado. A relação de 116,0% é um indicador comparativo de oferta bruta/demanda, e não uma taxa de eficiência ou garantia de atendimento. O volume efetivamente aproveitável será inferior ao volume bruto e dependerá dos coeficientes de perdas, do descarte inicial, da eficiência dos componentes, de extravasamentos, da capacidade do reservatório e da correspondência temporal entre oferta e demanda.

Segurança hídrica, determinantes ambientais da saúde e sustentabilidade institucional.

A análise dos resultados permite ampliar a interpretação para além da engenharia hidráulica, incorporando a perspectiva da segurança hídrica e dos determinantes ambientais da saúde.

Segundo a Lei nº 8.080/1990, a saúde é condicionada por fatores ambientais e de saneamento básico, incluindo o acesso à água em quantidade e qualidade adequadas. No

presente estudo, os déficits projetados em determinados meses indicam apenas que a água pluvial potencialmente captada, isoladamente, não seria suficiente para substituir integralmente a fonte convencional nesses períodos; não constituem evidência de desabastecimento ou de inadequação das condições de higiene da instituição.

Sistemas de aproveitamento de águas pluviais podem contribuir para diversificar as fontes destinadas a usos não potáveis e reduzir a dependência exclusiva da água tratada, desde que sejam adequadamente dimensionados, operados e mantidos.

Além disso, tais sistemas podem fortalecer ações de sustentabilidade institucional e apresentar potencial educativo no ambiente escolar. Eventuais reduções de custos deverão ser avaliadas por análise econômica específica, não realizada neste estudo.

Comparação com estudos anteriores.

Os resultados podem ser comparados com estudos rastreáveis sobre consumo e aproveitamento de água da chuva em edificações educacionais, preservadas as diferenças de clima, ocupação, usos finais e capacidade de armazenamento.

Custódio e Ghisi (2024), em edifício universitário no Sul do Brasil, avaliaram o potencial de economia de água potável e a viabilidade financeira de um sistema de aproveitamento de água da chuva, destacando a influência da demanda, do reservatório e das características da edificação. O estudo reforça a necessidade de dimensionar o armazenamento para transformar disponibilidade pluviométrica em atendimento efetivo.

Medeiros et al. (2025) e Nunes, Wanderley e Silva (2017) mostram que indicadores de consumo em escolas podem variar consideravelmente entre instituições. Essa variabilidade reforça a necessidade de substituir, em etapa posterior, o parâmetro de 6 L/pessoa/dia e o cenário fixo de 22 dias/mês por dados observados no próprio bloco pedagógico.

De forma complementar, Gnoatto, Kalbusch e Henning (2023) demonstram a importância da avaliação dos usos finais e do monitoramento do consumo em edifícios universitários. Assim, a interpretação do potencial de aproveitamento pluvial deve ser articulada a medidas de eficiência hídrica e a dados reais de operação.

Assim, os resultados indicam elevado potencial hídrico para o aproveitamento de águas pluviais no caso estudado, condicionado à sazonalidade das chuvas, à demanda efetiva, à capacidade de armazenamento e às características técnicas do sistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial técnico do aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis em um bloco pedagógico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) – Campus Castanhal, considerando a disponibilidade pluviométrica utilizada no estudo, a área de cobertura da edificação e a demanda hídrica estimada.

Considerando a área de cobertura de 693 m² e as médias mensais oficiais de precipitação calculadas para o período de 2021 a 2025, cuja soma corresponde a 1.909,16 mm, foi estimado volume bruto anual de água pluvial incidente sobre a cobertura de aproximadamente 1.323,05 m³. Para o cenário de 720 usuários, consumo de referência de 6 L/pessoa/dia e 22 dias de funcionamento por mês, a demanda anual estimada foi de 1.140,48 m³. A relação volumétrica bruta entre oferta anual e demanda corresponde a aproximadamente 116,0%, com saldo anual teórico de +182,57 m³. Esses valores caracterizam uma estimativa de disponibilidade pluviométrica teórica bruta e não devem ser interpretados como volume efetivamente aproveitável por um sistema instalado.

O balanço mensal simplificado evidenciou forte influência da sazonalidade. Foram observados superávits volumétricos brutos em fevereiro, março, abril, maio e julho e déficits em janeiro, junho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro, demonstrando que a análise anual isolada não é suficiente para estimar o atendimento efetivo da demanda. A ausência de simulação de reservatório e de coeficientes de perdas impede converter diretamente esses saldos em percentual efetivo de atendimento da demanda.

A distribuição mensal dos resultados evidencia que a disponibilidade pluvial varia ao longo do ano, com excedentes concentrados nos meses mais chuvosos e redução da oferta em parte do segundo semestre. Esse comportamento reforça o papel da sazonalidade na relação entre a água disponível sobre a cobertura e a demanda estimada da edificação.

Os resultados obtidos demonstram que o aproveitamento de águas pluviais pode atuar de forma complementar ao abastecimento convencional, especialmente em usos não potáveis, ampliando a eficiência hídrica da edificação e favorecendo práticas institucionais de uso racional da água.

Do ponto de vista ambiental, o aproveitamento da água da chuva representa uma estratégia compatível com a gestão sustentável dos recursos hídricos, ao possibilitar a

substituição parcial de água potável em finalidades que não exigem essa qualidade e valorizar uma fonte hídrica disponível localmente.

Conclui-se que o bloco pedagógico analisado apresenta elevado potencial para o aproveitamento de águas pluviais em usos não potáveis. Os resultados demonstram que a área de cobertura da edificação, associada ao regime pluviométrico de Castanhal, proporciona disponibilidade hídrica significativa ao longo do ano, capaz de contribuir para a redução do consumo de água potável destinada a finalidades que não exigem essa qualidade. A análise realizada confirma, portanto, a relevância do aproveitamento da água da chuva como estratégia de gestão sustentável dos recursos hídricos no ambiente institucional, conciliando eficiência no uso da água, conservação ambiental e fortalecimento de práticas de sustentabilidade no IFPA – Campus Castanhal.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a preparação deste manuscrito, os autores utilizaram o QGIS Desktop 4.2 para elaboração do mapa e ChatGPT (OpenAI) para apoio à revisão textual, organização e aprimoramento da redação do manuscrito. Após o uso desta ferramenta/serviço, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

18

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2022: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR 15527:2019: aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis — requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BRASIL. Lei nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 20 set. 1990.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 28 abr. 1999.

CUSTÓDIO, D. A.; GHISI, E. Potential for potable water savings using rainwater: a case study in a university building in Southern Brazil. Urban Water Journal, v. 21, n. 2, p. 251–258, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2023.2281307>.

GHISI, E.; FREITAS, D. A. Economic feasibility of rainwater harvesting and greywater reuse in a multifamily building. *Water*, v. 16, n. 11, art. 1580, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16111580>.

GNOATTO, E. L.; KALBUSCH, A.; HENNING, E. Avaliação de indicadores de consumo de água em bacias sanitárias de um edifício de um campus universitário. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

GNOATTO, E. L.; KALBUSCH, A.; HENNING, E. Avaliação do consumo de água em um edifício de um campus universitário. *Paranoá*, v. 16, n. 34, p. 1–16, 2023. DOI: <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.07>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados históricos anuais: estações automáticas, anos 2021–2025. Brasília, DF: INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 26 ago. 2026.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Tabela de estações meteorológicas: CASTANHAL (A202). Brasília, DF: INMET. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br>. Acesso em: 26 ago. 2026.

MEDEIROS, A. S.; BRIETZIG, F. R.; COLETTI, P. S.; NEGRI, R. Análise do consumo médio per capita de água em escolas municipais de Joinville, Brasil. *Paranoá*, v. 18, e53545, 2025. DOI: <https://doi.org/10.18830/1679-09442025v18e53545>.

NUNES, L. G. C. F.; WANDERLEY, T. R. B.; SILVA, S. R. Indicadores de consumo de água, vazamentos e perdas: estudo de caso das escolas públicas de Recife. *ANAP Brasil*, v. 10, n. 20, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17271/19843240102020171659>.

OCDE. A promoção da resiliência hídrica no Brasil: transformando estratégia em ação. Paris: OECD Publishing, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1787/a438b1fo-pt>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (WCED). Our common future. Oxford: Oxford University Press, 1987.