

Uso Racional da Água em Edificações: Proposta de Retrofit Hídrico em Edifício Residencial da Década de 1980 na Cidade do Rio de Janeiro

Vinicius Masquetti Conceição¹; Inês Oliveira de Sousa¹

✉ vinicius.conceicao@fau.ufrj.br

1. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

Histórico do Artigo: O autor detém os direitos autorais deste artigo.

Recebido em: 14 de fevereiro de 2026

Aceito em: 21 de agosto de 2026

Publicado em: 31 de agosto de 2026

Resumo: A gestão eficiente da água em edificações com décadas de operação demanda estratégias que integrem tecnologias economizadoras e sistemas de medição setorizada. Este estudo propõe uma metodologia de retrofit hídrico aplicada a um edifício residencial multifamiliar da década de 1980, avaliando sua viabilidade técnica e econômica por meio de simulações em um apartamento modelo representativo. A metodologia baseou-se em diagnóstico a campo; análise do faturamento global e na simulação de dois cenários na unidade modelo: o Cenário A (medição coletiva com retrofit de componentes economizadores) e o Cenário B (medição individualizada integrada ao retrofit de componentes). A modelagem em ambiente BIM foi decisiva para o planejamento espacial, viabilizando o redesenho hidráulico necessário para unificar quatro prumadas independentes em uma única descida de medição por apartamento. Os resultados na unidade habitacional modelo demonstraram reduções no consumo de 34,7% no Cenário A e de 30,9% per capita no Cenário B. A análise financeira revelou elevada atratividade, com o tempo de retorno do capital investido em economizadores caindo de 7,35 meses no Cenário A para apenas 2,22 meses no Cenário B, impulsionado pelo modelo tarifário progressivo local. Ressalta-se que o payback do Cenário B isola estritamente o custo dos dispositivos, desconsiderando o CAPEX estrutural da obra civil de unificação das prumadas, que deve ser amortizado de forma coletiva pelo condomínio. Conclui-se que a metodologia integrada viabiliza o planejamento mais sustentável e a tomada de decisão em assembleias, alinhando o parque edificado obsoleto aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6, 11 e 12).

Palavras-chave: Retrofit hídrico. Medição individualizada. Modelagem 3D. Conservação de água. Viabilidade econômica.

Sustainable Water Management In Buildings: Proposal For A Water Retrofit In A 1980s Residential Building In Rio De Janeiro City

Abstract: Efficient water management in buildings with decades of operation demands strategies that integrate water-saving technologies and sectorized metering systems. This study proposes a water retrofit methodology applied to a 1980s multifamily residential building, evaluating its technical and economic feasibility through simulations in a representative model apartment. The methodology was based on field diagnosis, global billing analysis, and the simulation of two scenarios in the model unit: Scenario A (collective metering with water-saving component retrofit) and Scenario B (individualized metering integrated with component retrofit). BIM modeling (Building Information Modeling) was decisive for spatial planning, enabling the hydraulic redesign required to unify four independent water risers into a single downpipe for metering per apartment. The results in the model unit demonstrated consumption reductions of 34.7% in Scenario A and 30.9% per capita in Scenario B. The financial analysis revealed high attractiveness, with the payback period for the investment in water-saving devices dropping from 7.35 months in Scenario A to merely 2.22 months in Scenario B, driven by the local progressive tariff model. It is highlighted that the Scenario B payback strictly isolates the device costs, excluding the structural CAPEX of the civil works for riser unification, which must be collectively amortized by the condominium. It is concluded that the proposed integrated methodology enables sustainable planning and decision-making in assemblies, aligning obsolete building stock with the Sustainable Development Goals (SDGs 6, 11, and 12)

Keywords: Water retrofit. Individualized metering. 3D modeling. Water conservation. Economic feasibility.

Uso Racional Del Agua En Edificaciones: Propuesta De Rehabilitación Hídrica En Edificio Residencial De La Década De 1980 En La Ciudad De Río De Janeiro

Resumen: La gestión eficiente del agua en edificaciones con décadas de operación demanda estrategias que integren tecnologías economizadoras y sistemas de medición sectorizada. Este estudio propone una metodología de retrofit hídrico aplicada a un edificio residencial multifamiliar de la década de 1980, evaluando su viabilidad técnica y económica mediante simulaciones en un departamento modelo representativo. La metodología se basó en el diagnóstico de campo, el análisis de la facturación global y la simulación de dos escenarios en la unidad modelo: el Escenario A (medición colectiva con retrofit de componentes economizadores) y el Escenario B (medición individualizada integrada al retrofit de componentes). El modelado en entorno BIM (*Building Information Modeling*) fue decisivo para la planificación espacial, viabilizando el rediseño hidráulico necesario para unificar cuatro columnas de distribución independientes en una sola bajada de medición por departamento. Los resultados en la unidad modelo demostraron reducciones de consumo del 34,7% en el Escenario A y del 30,9% per cápita en el Escenario B. El análisis financiero reveló una alta atractividad, con el tiempo de retorno (*payback*) de la inversión en economizadores cayendo de 7,35 meses en el Escenario A a solo 2,22 meses en el Escenario B, impulsado por el esquema tarifario progresivo local. Se destaca que el *payback* del Escenario B aísla estrictamente el costo de los dispositivos, excluyendo el CAPEX estructural de la obra civil de unificación de columnas, el cual debe ser amortizado colectivamente por el condominio. Se concluye que la metodología integrada viabiliza la planificación sostenible y la toma de decisiones en asambleas, alineando el parque inmobiliario obsoleto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6, 11 y 12).

Palabras clave: Retrofit hídrico. Medición individualizada. Modelado 3D. Conservación de agua. Viabilidad económica.

INTRODUÇÃO

O rápido crescimento urbano, a expansão do parque imobiliário, bem como o aumento da demanda por recursos hídricos, agravados pelas mudanças climáticas e recorrentes crises de escassez, impõem o uso racional da água como componente essencial das políticas urbanas e no alinhamento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, sobretudo os ODS 6, 11 e 12. A modernização desse parque construído, impulsionada por requisitos de desempenho e certificações ambientais (como LEED, BREEAM, AQUA-HQE e Selo Casa Azul), encontra nos sistemas prediais hidráulicos e sanitários (SPHS) um gargalo crítico de eficiência (BARROS; BASTOS, 2015; CAIXA, 2010; CALDAS, 2020; SALGADO *et al.*, 2012). Diante do envelhecimento predial brasileiro, torna-se indispensável conceber *retrofits* que garantam tanto a conformidade com as exigências de estanqueidade e durabilidade da ABNT NBR 15575-6:2021 quanto a conservação ativa dos recursos hídricos nas edificações.

Edificações residenciais multifamiliares construídas há várias décadas apresentam desafios físicos complexos para o *retrofit* hídrico, tais como o avançado estado de corrosão de tubulações metálicas, a ocorrência de vazamentos ocultos e a ausência de documentação técnica ou de projetos *as-built* confiáveis (BOTTEGA *et al.*, 2022; CARVALHO JÚNIOR, 2018). Além disso, a fragmentação típica dessas instalações, nas quais cada unidade é alimentada por múltiplas colunas de distribuição independentes, inviabiliza a medição individualizada sem que haja uma reforma estrutural significativa (CONCEIÇÃO, 2007; PIMENTEL *et al.*, 2024; VERÓL *et al.*, 2019). Diante dessas barreiras físicas, torna-se importante o desenvolvimento de estratégias integradas que facilitem o planejamento físico-espacial e a comprovação prévia da viabilidade técnica e econômica das intervenções junto aos condôminos.

Diversas abordagens isoladas têm sido adotadas para promover a eficiência hídrica predial, como o uso de metais sanitários de baixa vazão (MARINOSKI *et al.*, 2018; OLIVEIRA, 1999; SAUTCHUK, 2005), o aproveitamento de águas pluviais (ABNT NBR 15527:2019), o reuso de águas cinza (ABNT NBR 16783:2019),

entre outras. Embora o arcabouço normativo e iniciativas legislativas, tais como o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água no Rio de Janeiro (Lei nº 2.015/2016), incentivem e até exijam tais práticas, a implantação sistêmica em prédios antigos enfrenta forte resistência de moradores devido à assimetria de informações técnicas e financeiras fornecidas.

Nesse cenário, a modelagem em ambiente BIM (*Building Information Modeling*) destaca-se como instrumento estratégico para superação dessas barreiras. Entretanto, a maior parte das pesquisas acadêmicas atuais concentra-se em simulações térmicas e energéticas de projetos novos ou coordenação geral de interferências. Permanece escassa a estruturação de metodologias que usem o BIM ativamente no diagnóstico físico-operacional de patologias, no planejamento espacial do traçado de tubulações para centralização de prumadas e como suporte gráfico didático para assembleias condominiais em *retrofits* hídricos (AHMED *et al.*, 2025; LAI *et al.*, 2026; ZOU *et al.*, 2026).

Para suprir essa lacuna, o presente estudo tem como objetivo propor e analisar a viabilidade técnica e econômica de uma metodologia integrada de *retrofit* hídrico aplicada a um edifício residencial multifamiliar da década de 1980 na cidade do Rio de Janeiro. A pesquisa investiga a unificação de prumadas independentes com apoio de modelagem 3D, em conjunto com proposição de substituição de aparelhos hidrossanitários convencionais por dispositivos/aparelhos economizadores e a individualização da medição de água. Parte-se da hipótese de que a convergência entre componentes economizadores, redesenho hidráulico e modelagem visual constitui uma estratégia robusta e de atratividade financeira, capaz de acelerar a modernização mais sustentável do estoque imobiliário nacional.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento deste estudo fundamentou-se em pesquisa bibliográfica e estudo de caso com levantamento de campo, estruturada em seis etapas interdependentes, sintetizadas no fluxograma apresentado na Figura 1.

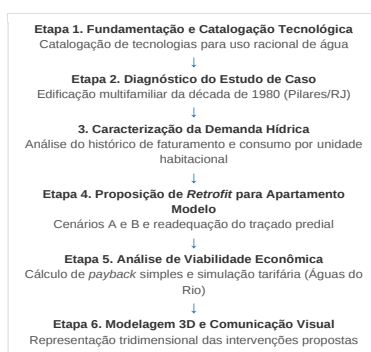


Figura 1. Etapas da metodologia empregada na condução do estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Etapa 1: Fundamentação e catalogação de tecnologias de eficiência hídrica

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica a estudos científicos e normas técnicas (Sautchuk, 2005; Gonçalves, 2006; Neto e Julio, 2014; Bertolini *et al.*, 2018; Veról *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2020; NBR 10.281:2024, entre outras) para identificar e catalogar as tecnologias de eficiência hídrica de maior aplicabilidade em *retrofits* hídricos residenciais. Especificamente para o estudo, foram selecionadas e avaliadas as

seguintes tecnologias economizadoras: (i) arejadores de vazão para torneiras de pias e lavatórios; (ii) restritores e reguladores de vazão para chuveiros; (iii) mecanismos de duplo acionamento (3/6 litros) para caixas acopladas de bacias sanitárias; e (iv) hidrômetros para medição individualizada.

A Tabela 1 sintetiza as tecnologias catalogadas, correlacionando-as às suas estratégias de conservação, mecanismos de atuação nos sistemas prediais de água fria (SPAF) e respectivas referências teóricas.

Tabela 1. Estratégias de conservação de água e tecnologias economizadoras catalogadas na literatura.

Estratégia mais Sustentável	Tecnologia economizadora/dispositivo	Função	Referências
Redução de vazão em torneiras de lavatórios e pias de cozinha	Arejadores de vazão para torneiras.	Misturam ar ao fluxo de água, mantendo o conforto tátil e reduzindo o consumo de água em até 50-70%.	Gonçalves (2006); Sautchuk (2005); Neto e Julio (2014); Salomão <i>et al.</i> (2020); Silva <i>et al.</i> (2020); ABNT NBR 10.281:2024.
Controle de pressão e vazão em chuveiros	Restritores/reguladores de vazão e chuveiros de baixa vazão.	Estabilizam e limitam a vazão máxima de água independentemente das variações de pressão da rede.	Sautchuk (2005); Gonçalves (2006); Neto e Julio (2014); Silva <i>et al.</i> (2020).
Racionalização da bacia sanitária	Mecanismo de duplo acionamento (3/6L) e caixas acopladas.	Permite a seleção do volume de descarga (líquidos ou sólidos), reduzindo o volume por acionamento em comparação a válvulas tradicionais.	Gonçalves (2006); Sautchuk (2005); Neto e Julio (2014); Salomão <i>et al.</i> , (2020); Silva <i>et al.</i> (2020).
Gestão e monitoramento de consumo	Hidrômetros e medição individualizada.	Permite a identificação de vazamentos, a setorização de ramais e a responsabilização direta do usuário pelo consumo.	Sautchuk (2005); Veról <i>et al.</i> (2019); ABNT NBR 16782/2019.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Etapa 2: Diagnóstico físico e caracterização do estudo de caso

O objeto de estudo selecionado foi um edifício residencial multifamiliar construído em 1980, localizado no bairro de Pilares, Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro/RJ (coordenadas 22°52'49.6"S 43°17'45.3"W). A edificação possui único bloco composto por 16 unidades habitacionais (UHs), abrigando atualmente 28 moradores.

A escolha de um edifício da década de 1980 deve-se ao fato de representar a tipologia típica do parque construído das metrópoles brasileiras, caracterizado por desafios como tubulações obsoletas e falta de projetos atualizados (CARVALHO JÚNIOR, 2018; CONCEIÇÃO, 2007).

O diagnóstico físico-operacional foi conduzido por meio de visitas técnicas *in loco* acompanhadas pelo gestor do condomínio, englobando: levantamento das características arquitetônicas; mapeamento dos SPHS originais e análise do estado de conservação; identificação de problemas aparentes e pontos críticos de desperdício nos sistemas de abastecimento e distribuição.

Os achados do diagnóstico foram tabulados categorizando o problema verificado e seu provável efeito, servindo de base para o direcionamento do projeto de *retrofit* hídrico.

Etapas 3: Caracterização da demanda hídrica do edifício

A determinação do consumo hídrico real do condomínio baseou-se na análise do histórico mensal de faturamento fornecido pela administração predial, compreendendo o período de abril de 2024 a março de 2025 (Figura 2).

Considerando que a edificação opera sob sistema de medição coletiva (rateio global entre as 16 UHs), o consumo médio mensal por apartamento (C_{UH}) foi determinado conforme a Equação 1.

$$C_{UH} = \frac{C_{predial}}{N_{UH}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

- C_{UH} : consumo médio mensal por unidade habitacional ($\text{m}^3/\text{mês}/\text{apto}$);
- $C_{predial}$: consumo médio mensal do condomínio ($238,8 \text{ m}^3/\text{mês}$);
- N_{UH} : número de unidades habitacionais do edifício ($N = 16$).

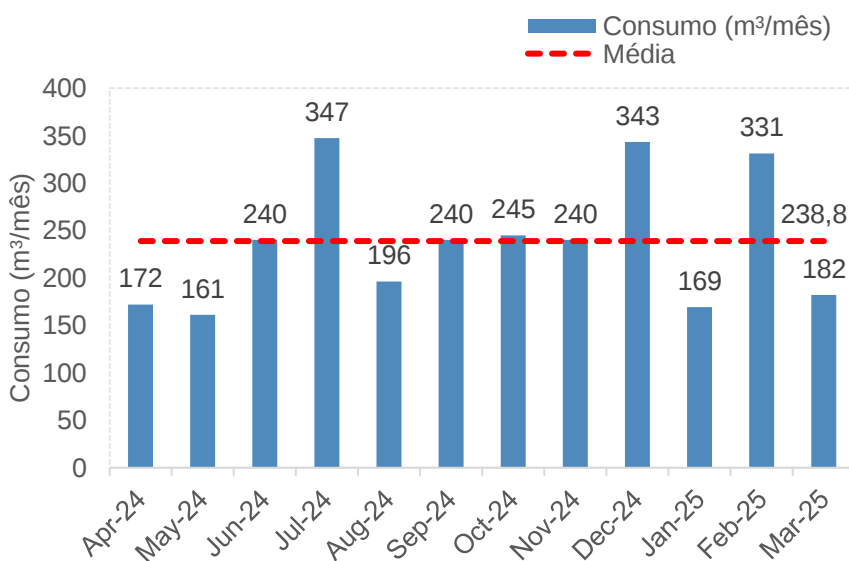


Figura 2. Histórico de consumo mensal de água potável do condomínio do edifício.
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Portanto, a partir da Equação 1, apurou-se um consumo médio de aproximadamente $14,94 \text{ m}^3/\text{mês}$ por apartamento (correspondente a $497,9 \text{ L}/\text{dia}/\text{UH}$).

Etapas 4: Proposição de retrofit hídrico e readequação do traçado predial

A avaliação da eficiência hídrica para o apartamento modelo (ocupado com 3 moradores) estruturou-se a partir da combinação entre regimes de medição e cenários de intervenção, a saber:

a) Sistema de medição coletiva (rateio global existente)

Avaliou-se o impacto da adoção de tecnologias economizadoras tomando como linha de base o consumo histórico médio apurado de 14,94 m³/mês por unidade:

a.1) Cenário atual: representa a condição operacional real, com aparelhos hidrossanitários convencionais e cobrança por rateio condominial. A distribuição percentual do volume consumido entre os pontos de uso seguiu os parâmetros empíricos de Silva *et al.* (2020) para edificações multifamiliares na cidade do Rio de Janeiro.

a.2) Cenário *retrofit* A: simulou-se a instalação de componentes economizadores (arejadores de vazão, restritores de vazão e mecanismo de duplo acionamento) para aos aparelhos hidrossanitários existentes no apartamento. Para tanto, aplicaram-se os percentuais médios de redução volumétrica reportados por Gonçalves (2006), Neto e Julio (2014) e Bertolini *et al.* (2018).

b) Regime de medição individualizada

É importante mencionar que a linha de base do Cenário A (14,94 m³/mês, equivalente a 497,9 L/dia por unidade) resulta da divisão igualitária do consumo predial entre as 16 UHs sob rateio coletivo, independentemente do número de ocupantes de cada apartamento. Já a linha de base do Cenário B (284,0 L/hab.dia) foi obtida por abordagem *bottom-up* (Equação 2), calibrada para convergir com o indicador médio per capita observado no faturamento predial (238,8 m³/mês dividido entre os 28 moradores). Tendo em vista que, o apartamento modelo possui ocupação (3 moradores) superior à média predial (1,75 moradores/UH), o rateio atual mascara o consumo real da unidade, evidenciando que unidades mais ocupadas estão, na prática, sendo subsidiadas pelas de menor ocupação sob regime de medição coletiva. Essa discrepância reforça, por si, o argumento de equidade tarifária favorável à individualização da medição (Cenário B).

Sendo assim, nesta fase simulou-se a implementação do sistema de medição individualizada, determinando o consumo diário da unidade habitacional ($C_{diário}$) via balanço hídrico do apartamento modelo (Equação 2), com base nos parâmetros operacionais apresentados na Tabela 2.

$$C_{diário} = \sum_{i=1}^n (Q_i \times t_i \times f_i \times N) \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

- $C_{diário}$: consumo diário estimado da unidade habitacional (L/dia).
- Q_i : vazão nominal ou volume por acionamento do equipamento i (L/min ou L/acionamento).
- t_i : tempo médio de utilização por uso (min/uso).
- f_i : frequência média diária de utilização por morador (usos/hab.dia).
- N : número de ocupantes do apartamento.

Tabela 2. Parâmetros operacionais adotados no cálculo do consumo *per capita* do apartamento modelo.

Equipamento/ aparelho	Vazão convencional (Q_i)	Duração de uso (t_i)	Frequência de uso (f_i)	Referências
Chuveiro	12,0 L/min	7,3 min/uso	2 vezes/hab.dia	Gonçalves (2006).
Torneira de lavatório	8,5 L/min	0,5 min/uso	3 vezes/hab.dia	Salomão <i>et al.</i> (2020).
Bacia sanitária	6,0 L/acion.	-	3 acion./hab.dia	Gonçalves (2006).

Pia da cozinha	9,0 L/min	2 min/uso	2 vezes/hab.dia	Gonçalves (2006); Deca (2025).
Torneira de tanque	24,0 L/uso	-	1 vez/semana (0,14 uso/hab.dia)	Gonçalves (2006).
Máquina de lavar roupa	135,0 L/ciclo	-	2 ciclos/semana (0,28 ciclo/hab.dia)	Gonçalves (2006); Ypê (2025).

Fonte: Elaborado pelos autores com base nas referências citadas (2026).

Ainda sob esta proposta de medição individualizada de água, avaliaram-se duas propostas:

- b.1)* Cenário atual: manutenção dos aparelhos hidrossanitários convencionais do apartamento, sem dispositivos economizadores, no entanto, associados à individualização da medição para o apartamento.
- b.2)* Cenário *retrofit* B: manutenção dos aparelhos hidrossanitários existentes com a instalação de dispositivos economizadores (arejadores, restritores de vazão e duplo acionamento), em conjunto com a medição individualizada. Os percentuais médios de redução volumétrica também foram obtidos dos trabalhos reportados por Gonçalves (2006); Neto e Julio (2014); e Bertolini *et al.* (2018).

c) Readequação do traçado hidráulico predial

Como a unidade habitacional estudada é atendida originalmente por 4 (quatro) colunas independentes de distribuição (banheiro social, banheiro de serviço, cozinha e área de serviço), a individualização direta através de um único hidrômetro inviabiliza-se tecnicamente sem intervenção no traçado. Desta forma, foi realizada uma proposta de redesenho das tubulações internas do apartamento para centralizar a entrada de água em um único ponto de medição.

Etapa 5: Análise de viabilidade econômica e período de retorno

A avaliação da atratividade financeira das intervenções baseou-se na estimativa do período de retorno simples (*Payback* - PB), calculado conforme a Equação 3.

$$PB = \frac{I_{total}}{E_{mensal} \times T_{combinada}} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

- PB: Período de retorno simples do investimento (meses);
- I_{total} : Investimento direto para aquisição dos dispositivos economizadores na unidade habitacional (R\$);
- E_{mensal} : Economia volumétrica mensal de água obtida pelo cenário proposto (m^3 /mês);
- $T_{combinada}$: Tarifa combinada de água e esgoto (R\$/ m^3).

É válido mencionar que, a análise de retorno financeiro concentrou-se no investimento em dispositivos economizadores no apartamento modelo (I_{total}). Os custos relativos às obras civis e à substituição de tubulações para unificação das prumadas (Etapa 4c) foram desconsiderados do cálculo de *payback* da UH por configurarem um investimento estrutural de âmbito condominial (CAPEX do condomínio), garantindo o isolamento analítico do benefício gerado pelos dispositivos hidrossanitários.

A tarifa ($T_{\text{água}}$) foi formulada (Equação 4) com base no modelo tarifário vigente da concessionária Águas do Rio (ÁGUAS DO RIO, 2025) para a categoria residencial urbana (estrutura tarifária área A - Bloco 4). O cálculo considerou a estrutura em faixas progressivas de consumo e a aplicação do multiplicador de 100% referente à taxa de coleta e tratamento de esgoto sanitário.

$$T_{\text{combinada}} = T_{\text{água}} \times (1 + C_{\text{esgoto}}) \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

- $T_{\text{combinada}}$ = tarifa combinada (R\$).
- $C_{\text{esgoto}} = 1,0$ (fator de esgotamento equivalente a 100% da tarifa de água adotado pela concessionária).

Os custos de aquisição dos dispositivos economizadores foram obtidos via cotação comercial (média aritmética de três lojas em julho de 2026). A máquina de lavar roupas não foi submetida à substituição em nenhum cenário.

Para avaliar a resiliência financeira frente a incertezas comportamentais e tarifárias, aplicou-se uma análise de sensibilidade paramétrica de $\pm 20\%$ sobre o custo de aquisição, das tarifas da concessionária e da economia de água (Equação 3), mapeando os impactos em diagramas de Tornado.

Etapa 6: Modelagem 3D e comunicação visual

Com base nas plantas baixas originais impressas do projeto de prevenção e combate a incêndio, aliadas aos levantamentos obtidos nas visitas *in loco*, a edificação, o sistema indireto de abastecimento e o apartamento modelo foram modelados com uso do *software* Autodesk Revit MEP®. A modelagem tridimensional foi utilizada para representar as condições existentes, apoiar a análise e ilustração da adoção dos dispositivos economizadores e da readequação das colunas, bem como comunicar visualmente as soluções proposta aos gestores e moradores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização e diagnóstico do estudo de caso - edificação multifamiliar

Inicialmente, visando compreender a concepção das instalações existentes do sistema predial de abastecimento de água potável, foi realizada uma visita *in loco* guiada com o responsável pelo condomínio do edifício. Este levantamento preliminar permitiu a consolidação da fachada e a subsequente elaboração de uma modelagem tridimensional (Figura 3), ferramentas essenciais para a espacialização das patologias e a compreensão da complexidade do sistema de distribuição de água.



Figura 3. Fachada atual do edifício estudado (A) e modelagem 3D (B) realizada.
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A visita técnica ao edifício permitiu compreender o funcionamento real do sistema predial de água (Figura 4) e, ao mesmo tempo, evidenciar problemas que impactam diretamente o conforto dos moradores, a segurança e o consumo de água.

O diagnóstico revelou que o edifício opera sob um regime de abastecimento indireto, utilizando reservatórios inferior e superior construídos em concreto armado, conforme detalhado na modelagem do sistema (Figura 4). O sistema é complementado por uma medição coletiva via hidrômetro geral (Figura 5C), configuração ainda recorrente em tipologias habitacionais obsoletas no Brasil.



Figura 4. Modelagem do sistema indireto de abastecimento de água do edifício estudado.
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Como ponto crítico primário, identificou-se o avançado estado de degradação das tubulações originais em ferro fundido (Figura 5D), que apresentam oxidação severa e vazamentos pontuais. Em resposta à ineficiência do sistema, observou-se a execução de intervenções amadoras, onde moradores implantaram novas colunas em PVC sem o devido dimensionamento técnico exigido pela NBR 5626 (ABNT, 2020). Tais práticas resultaram em quadros de insuficiência de pressão nas unidades habitacionais, refletindo uma lacuna na gestão predial que prioriza soluções de baixo custo imediato em detrimento do desempenho hidráulico.

A Tabela 3 sintetiza as vulnerabilidades identificadas durante a visita, correlacionando os problemas verificados aos seus respectivos impactos operacionais e riscos associados.

A análise dos dados da Tabela 3 revela que a permanência da medição coletiva atua como um desestímulo econômico à conservação, uma vez que a opacidade no consumo individual impede o monitoramento

do perfil de demanda pelos moradores. Sob a ótica financeira, essa prática de rateio global mascara o ônus da possibilidade de vazamentos provenientes das prumadas (Figura 5A e 4B). Como a cobrança de esgoto praticada na cidade do Rio de Janeiro corresponde a 100% do valor da água, o faturamento de volumes perdidos ocorre frequentemente nas faixas tarifárias mais onerosas, duplicando o impacto econômico negativo sobre o condomínio.

Tabela 3. Problemas aparentes encontrados na visita ao edifício.

Problema verificado	Efeito provável
Tubulações de ferro fundido antigas nos apartamentos e áreas comuns	Vazamentos
Somente hidrômetro geral	Problemas nas medições/rateio
Número de colunas d'água excedente	Problemas com baixa pressão/provável superdimensionamento
Hidrante de passeio desconectado	Insuficiência de proteção em caso de incêndio
Poucos registros nas colunas	Manobra e fechamento do abastecimento em mais de um apartamento

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).



Figura 5. Registros fotográficos obtidos na visita ao edifício. A – Registros das prumadas de distribuição no Barrilete de distribuição de água na cobertura do edifício; B – Barrilete 85DN; C – Hidrômetro geral; D – Tubulação antiga de ferro fundido.

Fonte: Os autores (2026).

No que tange ao arcabouço jurídico, o edifício situa-se em um limbo regulatório, pois, embora as Leis Federal nº 13.312/2016 (BRASIL, 2016) e Municipal nº 112/2011 (RIO DE JANEIRO, 2011) instituem a obrigatoriedade da medição individual para novos empreendimentos, a modernização de ativos antigos permanece dependente de ações voluntárias.

A viabilidade técnica do *retrofit* é desafiada pela fragmentação da rede, visto que cada unidade habitacional é atendida por quatro colunas de distribuição distintas (cozinha, banheiros, lavabo e área de serviço), exigindo uma reforma estrutural complexa para a centralização da medição individualizada.

Caracterização da demanda hídrica do edifício

A caracterização da demanda hídrica da edificação baseou-se na compilação e análise das contas de água concedidas para o estudo, compreendendo um período de 12 meses consecutivos (Figura 2). A partir do faturamento hídrico deste intervalo, identificou-se um consumo predial médio de aproximadamente 238,8 m³/mês.

Para aprofundar a análise dessa demanda e investigar o comportamento hídrico do sistema, os dados faturados foram submetidos a uma avaliação estatística descritiva simplificada (Figura 6). O gráfico ilustra a distribuição do consumo no condomínio, evidenciando uma mediana de aproximadamente 240 m³/mês e destacando uma expressiva dispersão nos dados. Observam-se picos atípicos de faturamento que atingiram 331, 343 e 347 m³/mês nos meses de maior demanda, atestando variações no perfil de consumo global do edifício ao longo do período de referência (abril de 2024 a março de 2025).

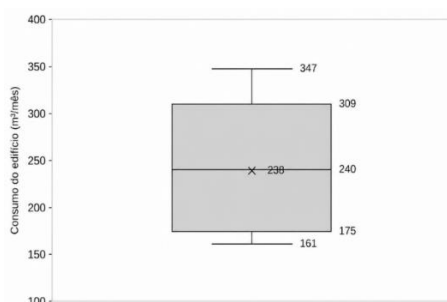


Figura 6. Diagrama de caixa evidenciando a dispersão estatística do consumo faturado no edifício (abril de 2024 a março de 2025).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Devido à atual medição coletiva praticada no edifício, o volume mensal faturado é rateado entre as unidades imobiliárias. Logo, considerando que a edificação abriga atualmente 28 moradores, o consumo global do condomínio reflete uma taxa média real de aproximadamente 284,0 L/hab.dia.

Adicionalmente, aplicando-se a Equação 1 ao volume médio, estabeleceu-se a demanda referencial por unidade habitacional (C_{UH}) em 14,94 m³/mês por apartamento. Este valor fixa o cenário atual de consumo da edificação e servirá neste trabalho, como a linha de base para a quantificação do potencial de conservação hídrica do apartamento modelo nas etapas de simulação de *retrofit*.

Deste modo, o indicador de consumo médio verificado (14,94 m³/mês por apartamento) ratifica os levantamentos clássicos do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA, 1998) e estudos mais recentes como de Silva *et al.* (2020) e Simões; Guimarães (2025) referentes a edificações multifamiliares de classe média na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

No entanto, a análise crítica do indicador *per capita* global do condomínio (284,0 L/hab.dia) revela um grau de ineficiência hídrica. No contexto nacional, de acordo com os dados mais recentes do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (BRASIL, 2024), o consumo per capita de água no Brasil é de 175,7 l/hab.dia. Porém, ao analisar os números por regiões e localidades específicas, percebem-se variações significativas. Na região Sudeste, o consumo *per capita* é de 196,64 l/hab.dia, valor superior à média nacional. No estado do Rio de Janeiro, este número sobe ainda mais, passando para 208,38 l/hab.dia, consumo acima da

média nacional e regional. Já na cidade do Rio de Janeiro, o consumo per capita em 2024 atinge 229,1 l/hab.dia (Brasil, 2024).

Dessa forma, a análise conjunta dos resultados de consumo para edifício estudado neste trabalho, sugere que o elevado índice *per capita* registrado (284,0 L/hab.dia) pode estar associado a diferentes fatores, podendo exemplificar dois principais. O primeiro refere-se a perdas invisíveis tais como vazamentos em prumadas antigas e falhas de estanqueidade, conforme observados na visita a campo (Figura 5), cujos volumes são faturados diretamente no hidrômetro geral (SAUTCHUK, 2005; GONÇALVES, 2006). O segundo diz respeito à ausência de medição individualizada, que reduz a percepção do consumo e o sinal econômico associado ao desperdício. Nesse sentido, Sborz *et al.* (2024) ao analisarem diversas habitações residenciais, os autores verificaram que a substituição da medição coletiva pela individualizada esteve associada a mudanças significativas no consumo *per capita*, evidenciando a influência do sistema de medição e faturamento sobre o comportamento dos usuários.

Estudo de caso - apartamento modelo

Balanço hídrico sob regime de medição coletiva (atual)

A simulação da adoção de dispositivos economizadores (arejadores de vazão em torneiras, restritores de vazão em chuveiros e mecanismos de duplo acionamento em bacias sanitárias) mantendo o regime de medição coletiva existente no edifício (cenário *retrofit A*), demonstrou um potencial significativo de redução volumétrica.

A Tabela 4 sintetiza a redistribuição da demanda hídrica por aparelho sanitário antes e após a intervenção. Como complemento visual, a comparação direta entre os volumes mensais consumidos por ponto de uso no cenário atual e no cenário *retrofit A* está ilustrada na Figura 7.

Tabela 4. Estimativa da demanda e consumo atual de água por aparelho hidrossanitário da unidade habitacional estudada, praticada a partir de medição coletiva (rateio).

Cômodo do Apartamento	Aparelho hidrossanitário	Cenário atual		Cenário <i>retrofit A</i>	
		Participação no consumo (P _i - %) ⁽²⁾	Consumo mensal estimado/aparelho (C _i - m ³ /mês)	Redução do consumo (P _i - %) ⁽³⁾	Consumo mensal estimado/aparelho (C _i - m ³ /mês)
Banheiro	Chuveiro tradicional	29,0	4,33	32,0	2,94
	Bacia sanitária com válvula de descarga simples	30,0	4,48	30,0	3,14
	Torneira de lavatório	8,0	1,20	50,0	0,60
Cozinha	Torneira bica alta	19,0	2,84	50,0	1,42
Área de Serviço	Lavadora de roupas (eixo horizontal)	8,0	1,20	-	1,20
	Torneira de tanque	6,0	0,89	50,0	0,45
Consumo total (m ³ /mês)			14,94 ⁽¹⁾	-	9,75
Economia mensal (m ³ /mês)			-	-	5,19

Redução do consumo (%/mês)	-	-	34,7
----------------------------	---	---	------

Nota: ⁽¹⁾ Consumo global atual da unidade obtido por rateio da média predial de 12 meses. ⁽²⁾ Percentuais adaptados de Silva et al. (2020); e PNCD -DTA-B1 (1998). ⁽³⁾ Percentuais conforme Gonçalves (2006); Neto e Julio (2014); e NBR 10.281:2024.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A proposta de adoção dos dispositivos economizadores (cenário *retrofit A*) resultou em uma redução global de 34,7% (reduzindo o consumo médio de 14,94 m³/mês para 9,75 m³/mês, com economia de 5,19 m³/mês) (Tabela 4, Figura 7). Essa redução obtida situa-se no centro da faixa teórica e empírica documentada pela literatura. Em âmbito nacional, Gonçalves (2006) e Neto e Julio (2014) reportam economias situadas entre 25% e 40% em intervenções hidrossanitárias sem alteração da rotina dos usuários, demonstrando a elevada eficiência de tecnologias passivas de baixo custo.

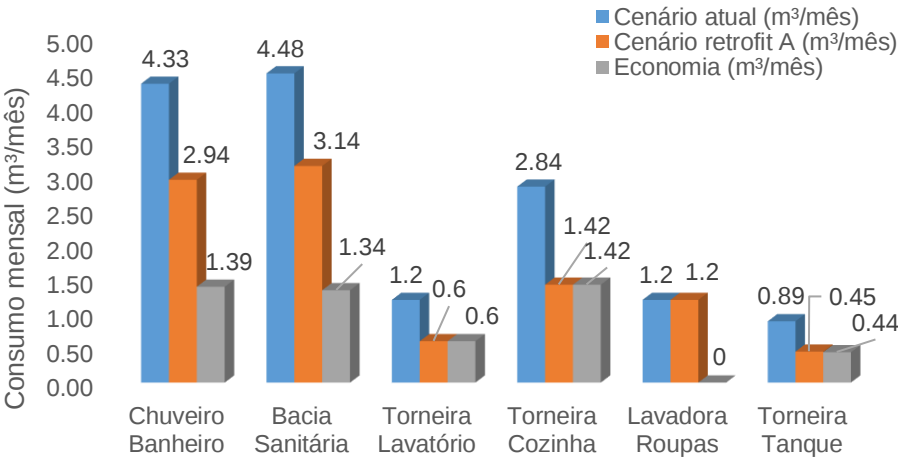


Figura 7. Consumo mensal determinado por aparelho hidrossanitário no apartamento modelo para os cenários atual e *retrofit A* sob regime de medição coletiva.
Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Em nível internacional, os achados convergem com o trabalho de Inman e Jeffrey (2006) em que os autores analisaram programas de conservação hídrica residencial em diversos países e identificaram reduções médias de 20% a 38% decorrentes do uso de arejadores e reguladores de vazão. A análise da Figura 7 permite destacar que a maior contribuição individual para a economia decorre da contenção de vazões nas torneiras (50,0% de redução individual por ponto), comprovando que a restrição de vazão em pias e tanques é uma das medidas de maior custo-benefício em edifícios antigos, por exemplo, com uso de aparelhos hidrossanitários convencionais.

Estimativa e balanço hídrico sob regime de medição individualizada

A simulação da transição para a medição individualizada permitiu desagregar o consumo diário *per capita* (L/hab.dia) a partir das rotinas de uso e das características operacionais das louças e metais sanitários.

Na Tabela 5 são apresentados os volumes diários consumidos e economizados por habitante em cada tipologia de aparelho sanitário. Para permitir uma análise abrangente da estrutura da demanda hídrica no

cenário de referência, a distribuição percentual do consumo *per capita* diário de 284,0 L/hab.dia está apresentada na Figura 8.

Tabela 5. Consumo dos aparelhos sanitários convencionais e economizadores para proposta de medição individualizada para o apartamento estudado.

Cômodo do apartamento	Aparelho hidráulico	Cenário atual (convencional) - Equipamento	Consumo <i>per capita</i> (l/hab.dia)	Cenário <i>retrofit</i> B (adoção de economizador)	Consumo <i>per capita</i> (l/hab.dia)	Economia (l/hab.dia)
Banheiro	Chuveiro	Sem restritor de vazão	175,2	Com restritor de vazão	119,1	56,1
	Bacia sanitária	Descarga simples	18,0	Descarga dual	12,6	5,4
	Torneira do lavatório	Convencional	12,8	Arejador	6,4	6,4
Cozinha	Torneira	Convencional	36,0	Arejador	18,0	18,0
Área de serviço	Torneira do tanque	Convencional	3,4	Arejador	1,7	1,7
	Máquina de lavar roupa	Convencional	38,6	N.A	38,6	38,6
Consumo <i>per capita</i> total (l/hab.dia)			284,0	-	196,4	-
Economia diária (l/hab)						87,6
Economia mensal (l/hab)						2.628,0
Redução do consumo (%/mês)						30,9

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Sob o regime de medição individualizada, a caracterização detalhada revelou o chuveiro como o principal vetor de consumo convencional, representando 61,7% ou 175,2 L/hab.dia de uma demanda total de 284,0 L/hab.dia (Tabela 5, Figura 8). Com a transição para o Cenário *retrofit* B, a demanda per capita diária decresce para 196,4 L/hab.dia, promovendo uma economia de 30,9% (87,6 L/hab.dia), o que equivale a um decréscimo volumétrico total de 7,88 m³/mês para os moradores do apartamento estudado. Essa redução de 30,9% alinha-se aos resultados apresentados por Willis *et al.* (2013), no qual o monitoramento de residências adaptadas com tecnologias hídras de baixo fluxo demonstrou economias entre 27% e 34% no uso final da água.

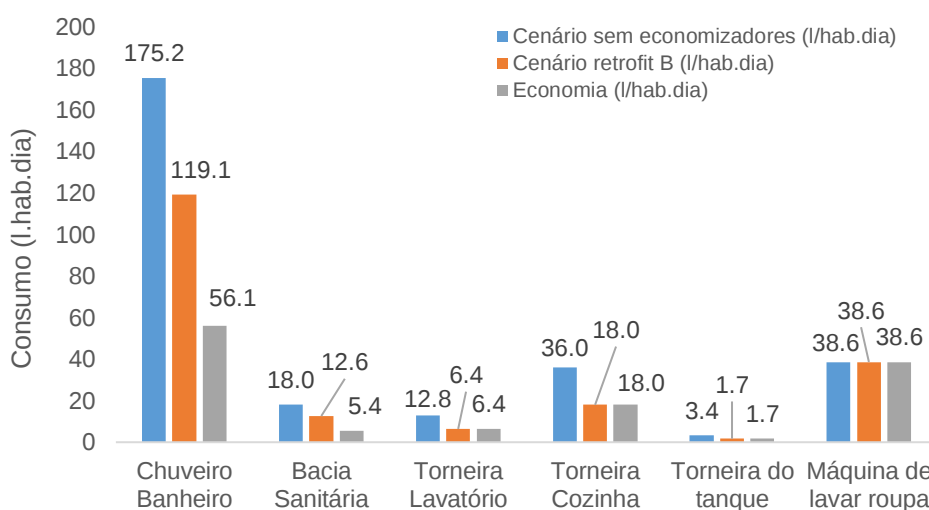


Figura 8. Partição percentual do consumo diário *per capita* de água para os cenários atual (284,0 L/hab.dia).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Análise de viabilidade econômica e tempo de retorno

A partir da determinação dos consumos nos diferentes cenários, avaliou-se a viabilidade econômica da implementação dos dispositivos economizadores no apartamento modelo, considerando os custos de aquisição e o benefício gerado a longo prazo. A Tabela 6 detalha o orçamento necessário para a substituição dos equipamentos convencionais por tecnologias de uso racional, totalizando um investimento direto por unidade habitacional de R\$ 583,60.

Com o orçamento definido, realizou-se o cálculo de *payback* simples (Equação 3), com a finalidade de estimar o tempo necessário para recuperar o capital investido a partir das economias volumétricas e financeiras geradas. Para tanto, a análise comparou os cenários (A e B) com base na estrutura tarifária da concessionária local (ÁGUAS DO RIO, 2025). A tarifa aplicada engloba a cobrança progressiva por faixas de consumo e o adicional de 100% referente ao esgotamento sanitário (Equação 4).

Nesse modelo, os primeiros 15 m³ são tarifados a R\$ 15,3011/m³ (água + esgoto), enquanto o volume excedente na faixa de 15 a 30 m³ possui tarifa unificada de R\$ 33,6623/m³. A Figura 9 ilustra a relação comparativa entre os dois cenários por meio do montante investido e o tempo de retorno (*payback* em meses) para a unidade habitacional.

Tabela 6. Investimento para a substituição dos equipamentos convencionais do apartamento estudado por economizadores.

Aparelho	Qtde.	Dispositivo/ componente	Preço médio unitário (R\$) ¹	Preço total (R\$)
Bacia sanitária	2	Mecanismo de saída <i>dual flush</i> (bacia sanitária)	191,07	382,14
Chuveiro	2	Restritor de vazão para chuveiro	8,33	16,66
Lavatório	2	Arejador de torneira lavatório (mesa)	62,80	125,60
Pia da cozinha	1	Arejador torneira cozinha (bica alta)	37,10	37,10
Tanque	1	Arejador torneira do tanque (parede)	22,10	22,10
Investimento total - I _{Total} (R\$)				583,60

Nota: ⁽¹⁾ Preço médio unitário de cada dispositivo economizador coletado em três diferentes lojas (julho/2026).

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Ressalta-se que, no Cenário B, a economia financeira mensal não corresponde a uma simples multiplicação do volume economizado pela tarifa marginal superior, pois parte do consumo da unidade permanece na primeira faixa tarifária (15 m³); o cálculo considera a alocação proporcional do volume economizado entre as faixas tarifárias aplicáveis antes e depois da intervenção.

A análise financeira revelou que o investimento em dispositivos economizadores (R\$ 583,60) é recuperado em 7,35 meses no Cenário *retrofit* A (gerando economia de R\$ 79,41/mês) e em apenas 2,22 meses no Cenário *retrofit* B (com economia de R\$ 263,24/mês), conforme ilustrado na Figura 9. Esses tempos de retorno demonstram a elevada atratividade econômica do *retrofit* hídrico baseado em tecnologias de baixo custo e rápido

tempo de implementação, caracterizando-se como investimentos de baixo risco financeiro e rápida amortização de capital. Tal resultado corrobora os achados da literatura nacional para edificações multifamiliares (PROENÇA; GHISI, 2009; SILVA *et al.*, 2020), os quais demonstram, para intervenções focadas em dispositivos economizadores de ponto de uso (arejadores de vazão, restritores e caixas de duplo acionamento), período de retorno tipicamente inferior a 12 meses.

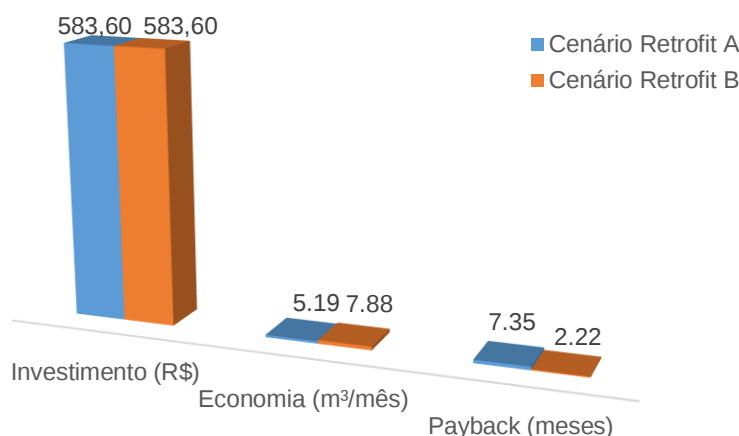


Figura 9. Relação comparativa entre o investimento e o tempo de retorno para os dois cenários de *retrofit*.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A diferença nos tempos de retorno observada entre os cenários reflete o efeito multiplicador da estrutura tarifária progressiva da concessionária sobre a economia financeira do usuário. Embora o investimento inicial na aquisição dos dispositivos seja idêntico em ambos os casos (R\$ 583,60), a recuperação do capital no cenário B ocorre em tempo substancialmente menor. Isso se justifica pelo fato de que a medição individualizada expõe a unidade habitacional à cobrança por faixas progressivas reais, onde a redução volumétrica obtida pelos economizadores mitiga diretamente o consumo excedente tarifado na faixa superior (R\$ 33,66/m³). Como resultado, a economia monetária mensal no cenário B (R\$ 263,24) é mais de três vezes superior à do cenário A (R\$ 79,41), acelerando exponencialmente a amortização do investimento.

Esse comportamento do consumidor sob medição individualizada converge com a literatura internacional sobre medição inteligente (*smart metering*) onde Beal *et al.* (2011) e Grafton *et al.* (2011), em auditorias da OCDE (*Organisation for Economic Co-operation and Development*), demonstraram que a visibilidade direta da fatura e do consumo individual induz os usuários a moderarem o tempo de uso dos aparelhos (tais como o chuveiro, apresentado na Figura 8), gerando um ganho conservacionista comportamental adicional de até 15%. Na mesma direção, Veról *et al.* (2019) evidenciaram que a individualização atua também como catalisadora da viabilidade econômica do *retrofit*, ao eliminar a cobrança por faixas marginais de custo elevado inerentes ao rateio condominial global, combinando assim, o efeito comportamental (uso) e o efeito tarifário (custo) como variáveis complementares da economia observada no Cenário B.

Para avaliar a resiliência do investimento frente a incertezas mercadológicas e comportamentais, submeteu-se o cálculo de *payback* a uma análise de sensibilidade, aplicando-se uma variação paramétrica de $\pm 20\%$ sobre o custo de aquisição, tarifa da concessionária e eficiência comportamental). Os resultados simulados estão sintetizados nos diagramas de sensibilidade da Figura 10.

Uso Racional da Água em Edificações: Proposta de Retrofit Hídrico em Edifício Residencial da Década de 1980 na Cidade do Rio de Janeiro

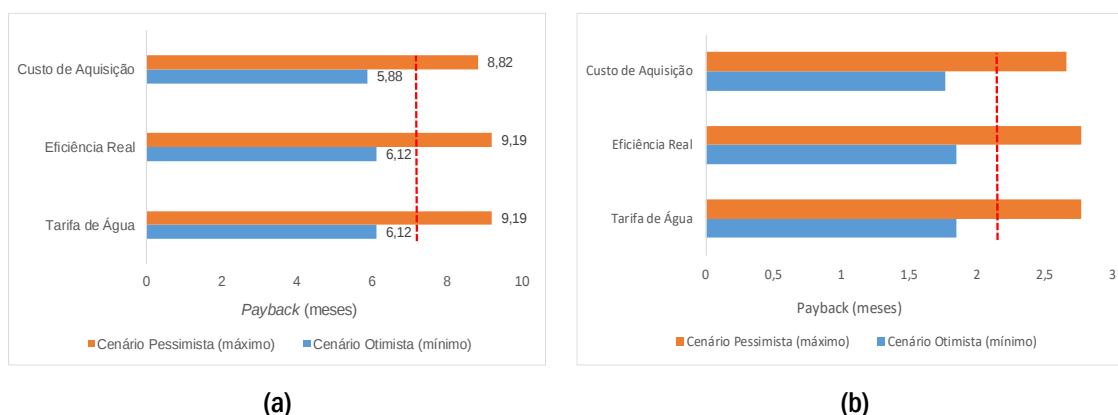


Figura 10. Análise de sensibilidade do tempo de retorno financeiro (*payback*) frente às variações de mercado e eficiência: (a) Cenário *retrofit*A sob medição coletiva; (b) Cenário *retrofit*B sob medição individualizada. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2026).

Sob a ótica da sensibilidade, a maior magnitude da economia mensal no Cenário B atua como um amortecedor financeiro contra choques externos. Por possuir um denominador elevado na equação de retorno ($PB = I_{total}/\text{Economia mensal}$), as variações operacionais de $\pm 20\%$ traduzem-se em flutuações absolutas marginais no tempo (entre 1,77 e 2,77 meses). Em contrapartida, o Cenário A opera sobre uma margem de economia monetária menor, tornando o *payback* mais exposto a oscilações (entre 5,88 e 9,19 meses).

Na Figura 10a, o eixo de referência demarca o *payback* base do *retrofit*A (7,35 meses), evidenciando que as flutuações na tarifa e no nível de engajamento dos usuários são os fatores de maior peso. Na Figura 10b, a linha de base em 2,22 meses para o *retrofit*B demonstra que, devido à redução proporcionada pela mudança de faixa tarifária, o impacto das incertezas mercadológicas é substancialmente mitigado, garantindo o retorno do capital em menos de três meses mesmo sob condições pessimistas. Esse padrão de resiliência converge com Alexandre *et al.* (2017) e Simões e Guimarães (2025), que identificam o custo de aquisição dos economizadores como variável de impacto marginal na viabilidade do projeto, ao passo que reajustes tarifários e engajamento comportamental dos moradores respondem pela maior parte da variação no tempo de retorno financeiro.

Proposta do traçado hidráulico e modelagem 3D

A partir da seleção e disponibilização da planta baixa do apartamento estudado, este foi modelado em 3D (Figura 11) para melhor visualização pelos moradores e usuários das intervenções pontuais propostas para a adoção dos componentes economizadores. A utilização desse modelo tridimensional atua como instrumento metodológico para a superação de barreiras de comunicação técnica projetual. Segundo Eastman *et al.* (2014) e Kassem *et al.* (2015), a representação visual em ambiente BIM reduz a assimetria de informação e aumenta o engajamento em projetos de *retrofit*, auxiliando a apresentação didática da proposta em assembleias de condomínio e mitigando a resistência histórica de proprietários quanto a intervenções invasivas em áreas privativas e comuns.

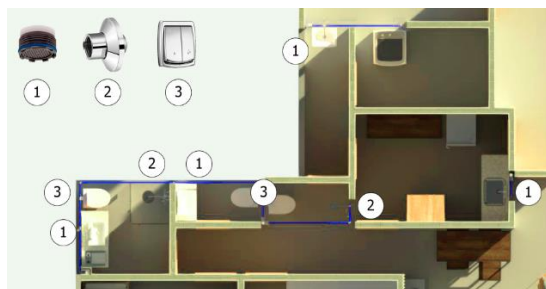


Figura 11. Intervenções economizadoras pontuais proposta para o apartamento estudado. (1) Arejador embutido; (2) Restritor de vazão; (3) Duplo acionamento.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A viabilização física da medição individualizada no edifício estudado exigiu a solução de um gargalo de engenharia/construção comum a prédios da década de 1980: a existência de quatro prumadas de água independentes por unidade habitacional (Figura 12a). Essa distribuição das tubulações hidráulicas reflete um padrão construtivo amplamente consolidado nas edificações multifamiliares brasileiras mais antigas (Sautchuk *et al.*, 2005; Gonçalves, 2006). Como a unidade habitacional estudada é alimentada de forma fragmentada, não há um único ponto onde se possa instalar um hidrômetro para obter uma leitura unificada e confiável do consumo hídrico.

Para resolver tal limitação estrutural, elaborou-se uma proposta de redesenho do traçado hidráulico, cujas prumadas e derivações resultantes estão apresentadas na Figura 12. A solução desenvolvida consistiu na eliminação das alimentações secundárias dispersas e na criação de um ramal alimentador centralizado derivado de uma única prumada de distribuição, posicionada no *hall* de serviço do pavimento. Para acompanhar as economias e iniciar um processo de setorização do sistema, propõe-se a instalação de um hidrômetro individual (HI) nessa nova prumada única que abastece o apartamento (Figura 12b).

A readequação do traçado técnico e das tubulações do sistema de distribuição é uma exigência técnica para o atendimento da NBR 16782 (ABNT, 2019) e para dar cumprimento à Lei Federal nº 13.312/2016 (BRASIL, 2016) e à Lei Complementar Municipal/RJ nº 112/2011 (Rio de Janeiro (RJ), 2011). Convém ressaltar que, para além da espacialização proposta, a execução exige a realização do dimensionamento hidráulico rigoroso do sistema. Tal análise deve contemplar a verificação de diâmetros nominais, cálculo das perdas de carga (localizadas e distribuídas), bem como a aferição das pressões estáticas e dinâmicas, garantindo conformidade com as normalizações técnicas. É importante salientar, contudo, que tais verificações de cálculo extrapolam o escopo do presente estudo e não foram consideradas neste trabalho.

A implementação de hidrômetro individual e a proposta de setorização, conforme os requisitos e diretrizes da NBR 16782 (ABNT, 2019), visam não apenas a redução direta de gastos operacionais, mas uma profunda mudança comportamental. Conforme apontado por Veról *et al.* (2019), a medição individualizada atua como um indutor de responsabilidade ambiental e facilita a manutenção preditiva contra vazamentos. Sautchuk *et al.* (2005) destacam ainda que a centralização da alimentação e a tarifação individual podem reduzir em até 25% o consumo de água, ao tornar o usuário direta e financeiramente responsável pelo próprio uso.

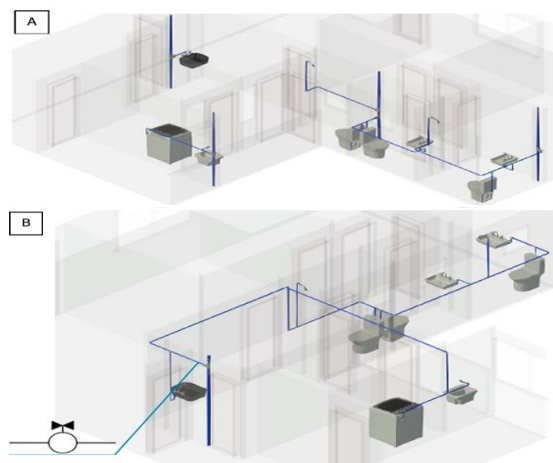


Figura 12. Proposta de intervenção para medição individualizada para a unidade habitacional. Nota: (A) Unidade habitacional atual possuindo 4 colunas de abastecimento; (B) Proposta de *retrofit* com somente 1 coluna. Fonte: Os autores (2026).

Nesse contexto, a proposta deste estudo alinha-se às diretrizes de uso racional da água e às políticas públicas locais, contribuindo para a modernização gradual de um edifício existente, com foco tanto no desempenho técnico quanto nos impactos socioeconômicos positivos percebidos pelos moradores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu seu objetivo principal ao demonstrar a viabilidade técnica e econômica do *retrofit* hídrico aplicado a edifícios residenciais multifamiliares da década de 1980. As simulações evidenciaram que tanto a modernização de componentes de ponto de uso quanto a transição para a medição individualizada geram reduções expressivas no consumo de água nas unidades habitacionais. Sob a perspectiva financeira, a intervenção revelou-se altamente atrativa, com períodos de retorno de curto prazo fortemente potencializados pelo regime tarifário progressivo da concessionária local, o qual atua como um forte catalisador econômico sob o modelo de cobrança individualizada.

O uso da modelagem tridimensional foi essencial para solucionar o complexo desafio físico de readequar o traçado hidráulico existente, permitindo planejar a unificação de quatro prumadas de alimentação independentes em uma única descida, viabilizando assim a instalação de um hidrômetro individual. Além de solucionar o problema espacial, o modelo visual gerado atua como facilitador da comunicação, essencial para superar as barreiras de aceitação e garantir a aprovação técnica e financeira das intervenções por parte dos condôminos.

Como delimitação técnica, a pesquisa concentrou-se na viabilidade espacial, construtiva e econômico-financeira do *retrofit*, não contemplando o dimensionamento hidráulico de detalhamento das novas tubulações e o cálculo rigoroso de perdas de carga prediais. Contudo, os achados comprovam que a integração entre tecnologias de baixo consumo hídrico, reconfiguração física do traçado de distribuição predial e individualização da cobrança, constitui o caminho mais eficiente para alinhar edificações antigas aos Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS 6, 11 e 12), elevando o padrão de eficiência dessas estruturas aos requisitos contemporâneos de racionalização hídrica global.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido a esta pesquisa, à Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) pelo apoio institucional e infraestrutura, e à administração do edifício pelo fornecimento dos dados fundamentais para este estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUAS DO RIO. **Legislação e tarifas**. Disponível em: <https://aguasitorio.com.br/legislacao-e-tarifas/>. Acesso em: 03 ago. 2026.

AHMED, W.; HEYWOOD, C.; HOLZER, D. BIM-enabled energy retrofitting: a critical review of current status and future prospects. **Energy & Buildings**, v. 348, art. 116478, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116478>.

ALEXANDRE, A. C.; KALBUSCH, A.; HENNING, E. Avaliação do impacto da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores no consumo de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 981-988, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016130494>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.281**: Torneiras – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-6**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16782**: Conservação de água em edificações – Requisitos, procedimentos e diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

BARROS, M. C.; BASTOS, N. F. A. **Edificações sustentáveis e certificações ambientais**: análise do selo Qualiverde. 2015. 113 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

BEAL, C. D.; STEWART, R. A.; FIELDING, K. A novel mixed method smart metering approach to reconciling differences between perceived and actual residential end use water consumption. **Journal of Cleaner Production**, v. 60, p. 116–128, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.007>

BERTOLINI, T.; PANDOLFI, A.; BERTICELLI, R.; PASQUALI, P. B. Viabilidade econômica da implantação de um sistema de equipamentos economizadores de água e captação de água pluvial para residência unifamiliar. **Exatas & Engenharias**, v. 8, n. 23, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.25242/885X82320181341>.

BOTTEGA, C. et al. Manutenção predial com ênfase em sistemas hidrossanitários: revisão sistemática da literatura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190332>.

BRASIL. **Lei nº 13.312, de 12 de julho de 2016**. Altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, para tornar obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 jul. 2016. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 06 ago. 2026.

BRASIL. Ministério das Cidades. **SINISA – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. Disponível em: <https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/dashboard?modulo=agua>. Acesso em: 03 ago. 2026.

Uso Racional da Água em Edificações: Proposta de Retrofit Hídrico em Edifício Residencial da Década de 1980 na Cidade do Rio de Janeiro

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Selo Casa Azul**: boas práticas para habitação sustentável. Brasília: Caixa, 2010. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/selo_casa_azul/guia-selo-casa-azul-caixa.pdf. Acesso em: 12 fev. 2026.

CALDAS, L. R. Uso do Excellence in Design for Greater Efficiencies (EDGE) como ferramenta de apoio para projetos de *retrofit* sustentável. **Revista Gestão e Gerenciamento**, n. 13, p. 44-55, 2020.

CARVALHO JÚNIOR, R. **Patologias em sistemas prediais hidráulico-sanitários**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

CONCEIÇÃO, A. P. **Estudo da incidência de falhas visando a melhoria dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários**. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

DECA. **Tomeira Deca de Mesa para Cozinha Flex Cromado 1167 C20 CLM**. Disponível em: <https://www.lojadexco.com.br/deca/deca-tomeira-deca-de-mesa-para-cozinha-flex-cromado-1167-c20-clm/p>. Acesso em: 28 jul. 2026.

EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM**: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores. Porto Alegre: Bookman, 2014.

GONÇALVES, R. F. (coord.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GRAFTON, R. Q. et al. Determinants of residential water consumption: Evidence and analysis from a 10-country household survey. **Water Resources Research**, v. 47, n. 8, art. W08537, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2010WR009685>.

INMAN, D.; JEFFREY, P. A review of residential water conservation tool performance and influences on implementation effectiveness. **Urban Water Journal**, v. 3, n. 3, p. 127–143, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15730620600961288>.

KASSEM, M. et al. BIM in facilities management applications: a case study of a complex university building. **Built Environment Project and Asset Management**, v. 5, n. 3, p. 261-277, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/BEPAM-02-2014-0011>.

LAI, X. et al. Framework for BIM-driven building rating tools for water efficiency assessment. **Architectural Engineering and Design Management**, p. 1–27, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17452007.2026.2680136>.

MARINOSKI, A. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. **Journal of Environmental Management**, v. 206, p. 28–39, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.004>.

NETO, R.; DE JULIO, M. Estudo de técnicas sustentáveis para racionalização do uso de água em edificações com enfoque na demanda. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p. 85-103, 2014.

OLIVEIRA, L. H. **Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios**. 1999. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PIMENTEL, A. et al. Análise de patologias em sistemas hidrossanitários: impactos e soluções em construções. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 10., 2024, Salvador. **Analís [...]**. Salvador: CONTECC, 2024.

PROENÇA, L.; GHISI, E. Assessment of water end-uses in four office buildings located in Florianópolis. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 95-108, 2009.

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA. **Documento técnico de apoio nº B1**. Brasília: PNCD, 1998.

RIO DE JANEIRO (Município). **Lei Complementar nº 112, de 17 de março de 2011**. Dispõe sobre a obrigatoriedade de individualização do medidor de consumo de água em edificações multifamiliares e dá outras providências. Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 18 mar. 2011.

RIO DE JANEIRO (Município). **Lei nº 2015, de 2016**. Institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água em Edificações no Município do Rio de Janeiro e dá outras providências. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

SALGADO, M. S.; CHATELET, A.; FERNANDEZ, P. Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 81-99, 2012.

SALOMÃO, P. E. A.; OLIVEIRA, S. S.; LIESNER, W. A. Captação, armazenamento e utilização de águas de chuvas para fins não potáveis. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, art. e89963391, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3391>.

SAUTCHUK, C. **Conservação e reúso da água em edificações**. São Paulo: FIESP, 2005. 151 p.

SBORZ, J.; COMINATO, C.; KALBUSCH, A.; HENNING, E. Individualized metering and the influence of other endogenous and exogenous factors on water consumption in social housing. **AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society**, v. 73, n. 12, p. 2259–2272, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.086>.

SILVA, A. O. et al. Proposta de projeto de uma edificação sustentável baseada no conceito de Net Zero Water Buildings. **Revista Gestão e Gerenciamento**, v. 13, p. 1-18, 2020. Disponível em: <https://nppg.org.br/revistas/gestaoegerenciamento/article/view/498>. Acesso em: 28 jul. 2026.

SIMÕES, G. B.; GUIMARÃES, L. F. Análise de viabilidade econômica para a adoção de aparelhos economizadores em uma edificação residencial existente. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO E EUROPEU SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 6., 2025, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: EuroELECS, 2025. v. 1, p. 1-11.

VERÓL, A. P.; VAZQUEZ, E. G.; MIGUEZ, M. G. **Sistemas prediais hidráulicos e sanitários**: projetos práticos e sustentáveis. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

WILLIS, R. M. et al. End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices. **Journal of Cleaner Production**, v. 60, p. 107-115, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.006>.

YPÊ. **Como economizar água na máquina de lavar**. Disponível em: <https://www.ype.ind.br/ype-explica/como-economizar-agua-na-maquina-de-lavar>. Acesso em: 28 jul. 2026.

ZOU, X.; TAN, Y.; ZHANG, G.; HOU, L. BIM-based sustainability analysis for building green retrofit: a systematic review. **Energy and Buildings**, v. 354, art. 116982, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2026.116982..>