INTERFERÊNCIA HÍDRICA NO METABOLISMO URBANO SOB A PERSPECTIVA DA ÁGUA ÚNICA

OLIVEIRA, Lara Santos da Silva.[1]; COHIM, Eduardo[2]

RESUMO – O presente artigo tem como objetivo realizar uma Análise de Fluxo de Materiais (AFM) a fim de sondar os usos finais de água em uma residência padrão da região semiárida do Brasil, trazendo um enfoque para o nível de perturbação urbana promovido pela construção. O software subSTance flow ANalysis (STAN) foi utilizado para registrar o balanço hídrico graficamente, enquanto os valores de consumo registrados no programa foram calculados através de uma distribuição triangular. Foi utilizado um indicador denominado Fator de Interferência Hídrica (IH) para mensurar em que nível o sistema demanda água mais que abastece. O IH antes da urbanização foi igual a 0,063, enquanto resultou em 2,1 após a urbanização. O resultado evidencia uma interferência aproximadamente 32 vezes maior após a construção da residência, cabendo inferir que na possibilidade de recirculação e economia da água dentro do próprio sistema, essa perturbação seria consideravelmente menor, ajudando no Metabolismo Urbano sob a filosofia de gerenciamento da Água Única.

ABSTRACT– This article aims to perform a Material Flow Analysis (MFA) to investigate the end uses of water in a standard residence located in Brazil semi-arid region, focusing on the level of urban disturbance caused by the construction. The subSTance flow ANalysis (STAN) software was used to graphically represent the water balance, while the consumption values registered in the program were calculated using a triangular distribution. An indicator called Water Interference Factor (IH) was used to measure the extent to which the system's water demand exceeds its supply. The IH prior to urbanization was 0.063, whereas it resulted in 2.1 after urbanization. This result demonstrates an interference approximately 32 times greater following the construction of the residence. Therefore, it can be inferred that through the possibility of water recirculation and conservation within the system itself, this disturbance would be considerably lower, aiding Urban Metabolism under the One Water management philosophy. .

Palavras-Chave – Análise de fluxo de materiais, Água Única, Metabolismo Urbano.

[1]) Universidade Estadual de Feira de Santana, Avenida Transnordestina, s/n, Novo Horizonte, Feira de Santana – BA, 44036-900. Graduanda. laraoliveng@gmail.com. (75) 99939-8606;
[2]) Universidade Estadual de Feira de Santana, Avenida Transnordestina, s/n, Novo Horizonte, Feira de Santana – BA, 44036-900. Prof. Dr. Orientador. edcohim@gmail.com. (71) 99195-9399.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de Água Única – originalmente conhecido como One Water – propõe a integração de todas as águas do ciclo urbano (Pokhrel, 2023). Trata-se de uma visão holística que promove um planejamento colaborativo para gerenciar a água, garantindo a sustentabilidade e resiliência, uma vez que trata os fluxos pluviais e residuais como um ativo para a cidade (Sinha et al., 2026; Dezfooli et al., 2023). Adin et al. (2026) afirmam que, sob tal ótica, as águas estigmatizadas (pluviais e esgoto) deixariam de ser um problema e passariam a ser vistas como recurso.

A abordagem de tratamento adequado ao uso (fit-for-purpose) do conceito de Água Única promove um tratamento comedido das águas, uma vez que existe um grande percentual de desperdício com a purificação excessiva das águas.

O conceito de Metabolismo Urbano utiliza uma metáfora, tratando a cidade como um organismo vivo. Ele quantifica como os recursos interagem dentro do sistema, realizando um "balanço hídrico da cidade" e contabilizando todas as entradas, armazenamentos e saídas para medir a eficiência geral urbana e os impactos ambientais associados, como emissões de gases de efeito estufa (Kenway et al., 2021). As duas abordagens são complementares, uma vez que o Metabolismo Urbano atua como a estrutura de análise e de diagnóstico, enquanto a One Water atua como a filosofia de governança e gestão.

O Metabolismo Urbano mapeia o desperdício no ciclo hídrico para que a água que antes era descartada passe a ser reciclada (Adin et al., 2026; Pokhrel, 2023). Adin et al. (2026) e Kenway et al. (2021) afirmam que, atrelando esse tipo de sondagem com a postura de fit-for-purpose, é possível aliviar a pressão sobre os recursos hídricos e elétricos das cidades.

Sob a perspectiva da Água Única e a relevância que a crise de gerenciamento hídrico tem no contexto do Metabolismo Urbano, é indispensável a adoção de uma nova postura para com este recurso.

Diante do contexto de urbanização e impermeabilização crescentes que a sociedade atual está inserida, existe uma preocupação com as águas pluviais que ofusca a existência dos outros ciclos de água que compõem a cidade. Faz-se necessária uma mudança da perspectiva de gerenciamento e, consequentemente, maior atenção também para os outros cursos de água, de forma que a abordagem de gerenciamento esteja atrelada ao conceito de Água Única como filosofia norteadora. Assim sendo, o objetivo do estudo é avaliar o impacto no ciclo hídrico gerado pela urbanização crescente.

2. METODOLOGIA

Foi aplicada uma Análise de Fluxo de Materiais (AFM), empregando o software STAN (*subSTance flow ANalysis*) para mapear e avaliar o ciclo hídrico de uma residência padrão localizada na região semiárida do Brasil. O lote possui uma área de 150 m², com 70 m² de área não construída dividida igualmente em área permeável e impermeável. Além disso, possui 80 m² de área de telhado. A ocupação admitida da residência estudada foi de três pessoas de baixa renda.

A precipitação foi contabilizada como o fluxo de entrada de água no terreno, os dados foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia indicaram uma precipitação anual média de 679,2 ± 158 mm em Feira de Santana, entre 1998 e 2016. Foram considerados alguns dos usos pontuais que recebem fluxos de água importada (*import flow)* e geram parte da água de saída (*export flow*). Contabilizou-se o chuveiro, bacia sanitária, lavatório, lavação manual de louças, ingestão, preparação de alimentos, máquina de lavar roupas e limpeza da residência.

Para comparação do impacto gerado, foram considerados dois cenários diferentes para a mesma residência: com e sem reaproveitamento da água de chuva. Os valores de captação anual de água pluvial foram calculados através do software TOROH.

A Análise de Fluxo de Materiais foi utilizada para ajudar a identificar os fluxos residenciais de maneira mais dinâmica, pois ajuda a identificar os pontos de possível intervenção no sistema hídrico do lote avaliado.

2.1 APRESENTAÇÃO DOS PONTOS DE CONSUMO

a. Banho

O chuveiro é um dos componentes críticos e representa cerca de 13,9% do consumo total de uma residência, embora esse valor possa atingir até 32%, a depender de fatores culturais, instalação do aparelho e temperatura nas localidades da análise. Foram considerados os aparelhos mais comuns como os modelos Maxi Ducha, Bella Ducha 4T e Advanced da Lorenzetti e os chuveiros Hydra ND ou Hydra Fit.

b. Bacia Sanitária

De acordo com Lute et al. (2015), as descargas podem representar até 26,7% do consumo total de água em ambientes internos. O modelo de duplo acionamento foi o considerado padrão atualmente e, por consequência, o adotado no estudo.

c. Lavatório

Foi diretamente associado à higienização das mãos depois das idas ao banheiro e antes das refeições. Os autores consideraram o lavatório um uso que não possui grande utilização para além destes momentos.

d. Lavação de Roupas

O conceito teórico do que torna uma roupa "suja" ou "limpa" não se limita à remoção física de sujidades, odores ou microrganismos. No presente estudo, foram considerados os modelos mais comuns do mercado, sendo estes: Suggar Tanquinho Lavamax, de 10 Kg; Consul, de 12 Kg e Electrolux Essential Care, de 11 Kg.

e. Ingestão

A ingestão de água engloba não apenas as necessidades fisiológicas básicas, mas pode variar de acordo com diversos elementos, fortemente relacionada aos fatores socioeconômicos como acesso à água, tempo da jornada de trabalho e condições térmicas da região. Foram considerados diferentes perfis de ingestão de água, apesar de todos apresentarem valores próximos.

f. Preparo de alimentos

Na preparação de refeições, é imprescindível que a água tenha passado por tratamentos a fim de prevenir as Doenças Transmitidas por Alimentos (DTAs). Além disso, a água desempenha múltiplas funções no processo de preparação dos alimentos como cocção, diluição ou hidratação.

g. Lavação manual de louça

O nível de penetração da lava-louças nas residências não é alto o suficiente para ser considerado padrão, enquanto a técnica de "água corrente" (*running tap*) prevalece no Brasil (66% dos usuários), apesar de destacar-se como sendo a mais consumptiva (Willis et al., 2013). Portanto, considerou-se o método com a técnica de água corrente.

h. Limpeza da residência

A limpeza da residência foi adotada com a utilização de baldes por ser o método encontrado de maneira mais recorrente.

2.2 VALORES DE ENTRADA DO SOFTWARE

O método de Monte Carlo foi utilizado para representar a variabilidade existente nas estimativas de consumo de água residencial. Foram realizadas 8 simulações – cada uma com 1000 iterações – correspondentes aos usos finais.

As variáveis de entrada foram definidas a partir de três parâmetros: valor mínimo, mais provável e valor máximo. Em distribuições estritamente normais, as médias aritméticas foram calculadas de forma direta. Em cenários de curvas lognormais (deslocadas), os dados originais foram logaritmizados para garantir a normalização no cálculo da média final.

Para cada atividade, foram calculados a média, a mediana, o desvio padrão, o coeficiente de variação e os percentis 5 e 95. A análise de sensibilidade foi realizada por meio do coeficiente de Spearman. Quanto mais próximo de 1, mais os aumentos nessas variáveis provocam elevações

importantes no consumo anual.

2.3 CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO EFETIVA

Foi realizado o cálculo da precipitação efetiva com o método do SCS (*Soil Conservation Service*, 1950), considerando um valor de CN = 77 para o terreno natural (pré urbanização) e outros CN para os componentes do cenário construído (99 para o telhado, 90 para o terreno impermeável, 80 para o terreno permeável). A Precipitação Efetiva foi calculada através da Equação 1:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \; ; \; Pef = \frac{(P - 0{,}2 \cdot S)^2}{(P - 0{,}8 \cdot S)} \text{ (em mm)} \quad (1)$$

Onde S representa o potencial máximo de retenção/armazenamento de água no solo (em mm), CN representa o Número da Curva (*Curve Number*), P representa a precipitação total do evento chuvoso (em mm) e Pef representa a Precipitação Efetiva (ou escoamento superficial).

2.4 FATOR DE INTERFERÊNCIA HÍDRICA

Para avaliar e comparar quantitativamente a disrupção hidrológica urbana nos cenários estudados, estabeleceu-se o Fator de Interferência Hídrica (IH) que divide as devoluções de água ao sistema urbano e a infiltração do lote através da Equação 2:

$$IH = \frac{Q_{devolução}\,(m^3/ano)}{Q_{infiltração}\,(m^3/ano)} \quad (2)$$

Onde IH representa a interferência hídrica, Q entrada representa a vazão que o lote insere no contexto urbano após uso (m³/ano) e Q infiltração é a vazão que infiltra no solo (m³/ano). A vazão de devolução foi contabilizada como todo fluxo *export flow* (escoamento, esgoto sanitário, esgoto pluvial), a depender de qual cenário está sendo analisado.

3. RESULTADOS

a. Precipitação

Foi obtido o valor de, aproximadamente, 102 ± 24 m³ de chuva sobre o terreno, de modo que o telhado receba 54 ± 13 m³ e o terreno remanescente recebe 47,5 ± 11 m³. A incerteza associada à precipitação é representada pelo desvio padrão da precipitação média anual.

b. Fluxos residenciais

Para o cálculo através do método de Monte Carlo, a Tabela 1 apresenta os valores utilizados como mínimos, mais prováveis e máximos de cada parâmetro.

Tabela 1: Parâmetros de Monte Carlo

USO	PARÂMETRO	UNIDADE	MÍNIMO	MAIS PROVÁVEL	MÁXIMO
Banho	Duração	*Min*	1	4	15
	Frequência	*Banho/hab · dia*	0,1	1	2,5
	Vazão	*L/min*	3	6	9
Sanitário	Frequência urina	*Urina/hab · dia*	1	4	7
	Frequência fezes	*Fezes/hab · dia*	1	1,5	2
Lavatório	Frequência banheiro	*Banheiro/hab · dia*	1,5	3,5	5,5
	Frequência alimentação	*Alimentação/hab · dia*	0	2	3
	Vazão	*L/min*	2	3	5
	Tempo de torneira aberta	*Min/uso*	0,25	0,5	1
Roupas	Ciclos	*Ciclos/semana*	3	4	6
	Consumo	*L/ciclo*	107	145	160
Louças	Duração	*Min*	2	5	8
	Frequência	*Louças/residência · dia*	0,3	1,5	3
	Vazão	*L/min*	3	5	8
Ingestão	Volume ingerido	*L/hab · dia*	1,4	2,7	4
Alimentos	Volume consumido	*L/hab · dia*	1,4	6,2	11
Limpeza	Frequência	*Limpeza/semana*	1	1,5	3
	Volume consumido	*L/limpeza*	5	12	20

Fonte: Autores, 2026.

Para o banho, um valor médio de 42,60 ± 3,92 m³/ano em uma residência com 3 pessoas foi obtido; o consumo médio da bacia sanitária em uma residência com 3 pessoas foi de 23,02 ± 8,61 m³/ano; considerando que normalmente existe a separação entre peças por cor, os resultados encontrados para lavação de roupas foram iguais a uma média de 30,71 ± 9,92 m³/ano na residência estabelecida; os resultados médios encontrados para a ingestão de água na residência foram iguais a 2,94 ± 1,10 m³/ano; o consumo de água para preparação de alimentos foi de 6,77 ± 4,08 m³/ano; para lavação de pratos, foi obtido o valor de 13,96 ± 3,31 m³/ano.

Os valores de desvio padrão foram multiplicados pelo coeficiente de segurança da distribuição normal (1,96) a fim de atingir um intervalo de confiança de 95%. A Tabela 2 ilustra os valores de entrada do software STAN para cada uso.

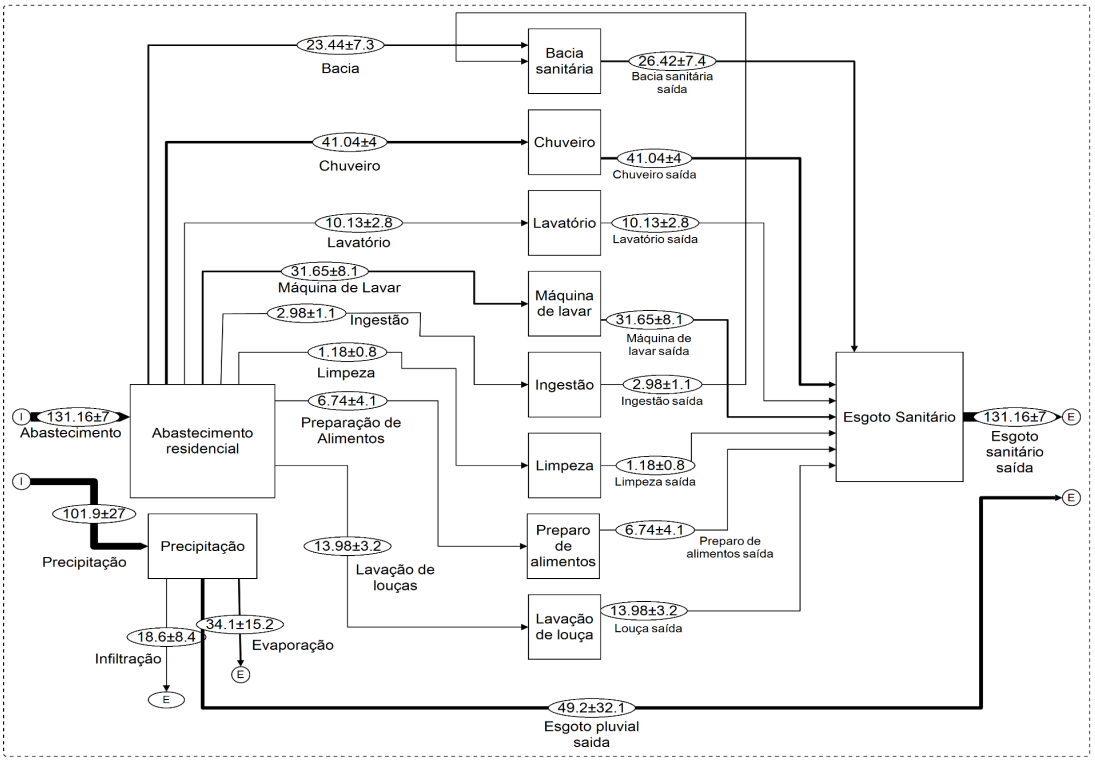
Tabela 2: Valores do software STAN

USO	CONSUMO MÉDIO (m³/ano)	ERRO (m³/ano)	PARCELA (%)
Banho	42,60	3,92	32,44%
Sanitário	23,02	8,61	17,52%
Lavatório	10,16	2,90	7,74%
Máquina de lavar roupas	30,71	9,92	23,38%
Lavação de louças	13,96	3,31	10,63%
Ingestão	2,94	1,10	2,24%
Preparo de alimentos	6,77	4,08	5,15%
Limpeza residencial	1,18	0,81	0,90%
TOTAL			**131,34**

Fonte: Autores, 2026.

c. STAN

Figura 1: Fluxos residenciais

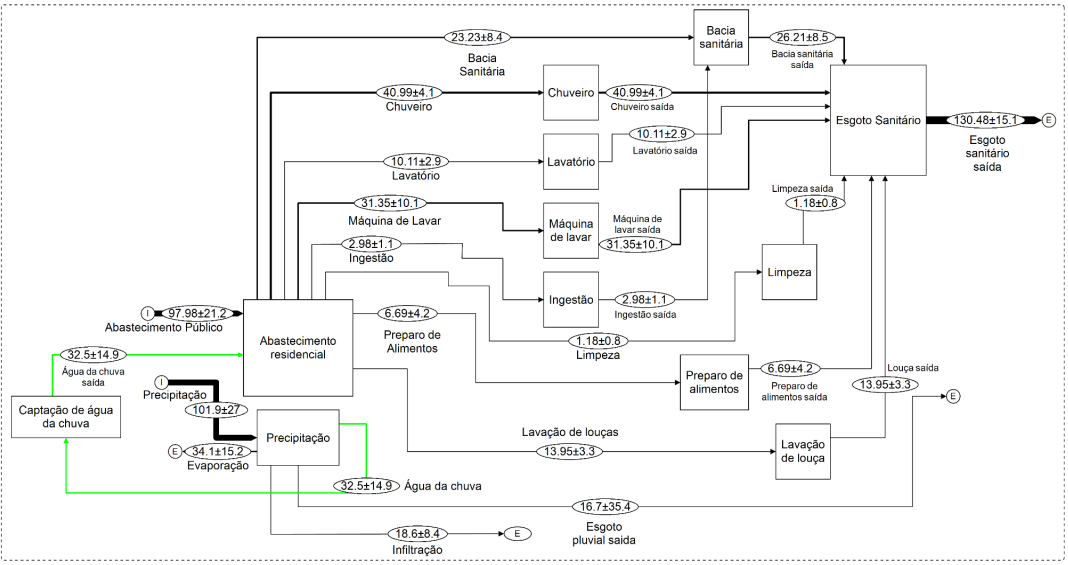


Fonte: Autores, 2026.

A Figura 1 ilustra os fluxos residenciais registrados no software de estudo, destacando que existe pouca resiliência hídrica, dado que a parcela de entrada (233 m³/ano, considerando a soma da precipitação e abastecimento urbano) é quase inteiramente convertida em uma parcela hídrica que recarrega o sistema urbano de aproximadamente 180 m³/ano.

Os valores do TOROH para volume médio de reaproveitamento de água da chuva foi igual a 32,5 m³/ano, e a água foi completamente convertida para abastecimento da residência, gerando diminuição da demanda de abastecimento público de água. A Figura 2 ilustra o cenário pós implantação do sistema de captação de água da chuva, com significativa redução (25,3%) do abastecimento público.

Figura 2: Fluxos residenciais com captação



Fonte: Autores, 2026.

d. Fator de Interferência Hídrica

A Tabela 3 expõe os resultados do indicador no lote nos cenários analisados.

Tabela 3: Cálculo do Fator de Interferência Hídrica

CENÁRIO	Qentrada (m³/ano)	Qinfiltração (m³/ano)	IH adimensional
Sem construção	6	96	0,063
Com construção	158	19	8,5
Com captação da água da chuva	125	19	6,7

Fonte: Autores, 2026.

O IH representa em quantas vezes a entrada de água em um sistema é maior que o método de recuperação natural desse recurso – no caso, a infiltração. Isso evidencia que o lote residencial possui um nível alarmante de interferência no ciclo natural da água e também no metabolismo urbano de gerenciamento deste recurso, dado que a entrada é 8,5 vezes maior que o retorno natural. Além disso, expõe que o nível de impermeabilização do terreno aumentou significativamente a perturbação no sistema da cidade para um mesmo espaço residencial.

A implantação do sistema de captação de água pluvial promoveu uma Interferência Hídrica aproximadamente 1,3 vezes menor.

3.1 ANÁLISE DA SENSIBILIDADE

O banho e a lavação de louças apresentaram os maiores níveis de incerteza, com coeficientes de variação de, respectivamente, 67,4% e 47,2%. Isso se dá por conta do grande número de parâmetros simulados nos dois usos. Em contrapartida, a lavação de roupas (16,1%) e o sanitário (18,1%) foram os menores.

De maneira geral, a análise de sensibilidade demonstrou que as variáveis relacionadas à frequência e à duração das atividades são os principais direcionadores do consumo residencial. Assim, ações de redução do tempo de banho, do número de acionamentos, da frequência de lavagem e do volume utilizado por evento podem produzir reduções expressivas no consumo total de água. No uso do sanitário, por exemplo, a frequência de descargas para urina foi a variável de maior influência, apresentando coeficiente de aproximadamente 0,944.

4. CONCLUSÃO

Em um cenário de resiliência hídrica ideal, é possível concluir que o Fator de Interferência Hídrica deveria ser significativamente menor, como ocorreu quando houve captação da água pluvial, que denotou que atitudes de recirculação ou aproveitamento da água que chega ao lote através da precipitação possuem potencial para exercer menor perturbação no sistema do Metabolismo Urbano da água. Ainda que a interferência seja consideravelmente maior que o terreno não urbanizado – em razão da impermeabilização do solo e a área de telhado –, a recuperação do recurso é significativa no que tange a resiliência hídrica, tanto residencial como urbana. Estas atitudes, atreladas a outras propostas de recirculação (como uso de águas cinzas ou reutilização da água de enxágue da máquina de lavar) poderiam diminuir ainda mais o impacto nos recursos naturais.

5. REFERÊNCIAS

ADIN, A.; SEDLAK, D. L.; NELSON, K. L.; ZILBERMAN, D.; ROZENBLUM, E.; WOLFF, G. H.; FRENKEL, V. S.; CHANDRAN, K.; FRIEDMAN, L. J. "*Making waves: One Water quality standardization concept – A leap for sustainable water management*". Water Research X, v. 31, p. 100514, 2026.

AZEVEDO, B. K. P. *"Demanda mínima de água para uma vida humana saudável: resultados preliminares para o Brasil"*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Departamento de Tecnologia. Universidade Estadual de Feira de Santana. Feira de Santana. 2021.

DEZFOOLI, D.; BOLSON, J.; ARABI, M.; SUKOP, M. C.; WIERSEMA, I.; MILLONIG, S. "*A Qualitative Approach to Understand Transitions toward One Water in Urban Areas across North America*". Water, v. 15, n. 14, p. 2499, 2023.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP): Dados históricos de precipitação - Feira de Santana (BA), 1998 a 2016*. Brasília, DF: INMET, 2026. Disponível em: *https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos*. Acesso em: 15 mai. 2026.

KENWAY, S. J.; RENOUF, M.; ALLAN, J.; ISLAM, K. M. N.; TARAKEMEHZADEH, N.; MORAVEJ, M.; SOCHACKA, B.; SURENDRAN, M. "*Urban metabolism and water sensitive cities governance: Designing and evaluating water-secure, resilient, sustainable, liveable cities*".

Em: Routledge Handbook of Urban Water Governance. Capítulo 20, p. 299-315. 1st ed. 2022. DOI: 10.4324/9781003057574-26.

KLINT, E. *"The anatomy of sustainable domestic laundering behaviour"*. Thesis for the degree of Licentiate of Engineering. Chalmers University of Technology, Gothenburg. Sweden. 2021.

KLINT, E., & PETERS, G. "*Sharing is caring - the importance of capital goods when assessing environmental impacts from private and shared laundry systems in Sweden."* The International Journal of Life Cycle Assessment, 26, 1085-1099. 2021.

LUTE, M. L.; ATTARI, S. Z.; SHERMAN, S. J. *"Don't rush to flush"*. Journal of Environmental Psychology. v. 43. p. 105-111. 2015.

MANHIÇA, J. A. *"Educação Ambiental para o Consumo Sustentável: uso da Pegada Ecológica como recurso didático"*. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental. Minas Gerais, 2020.

MOURA, I. E. M. O., MOITA NETO, J. M., & SILVA, E. A. *"Environmental performance of a household laundry cycle"*. The International Journal of Life Cycle Assessment, 29, 1765-1778. 2024.

POKHREL, S. R. "*A Path towards 'One Water' Community: Performance Assessment and Benchmarking*". 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – College of Graduate Studies, The University of British Columbia, Okanagan, 2023.

POPE, L. C. "*Dissecting the Average Shower and Its Impact on the Planet: An Invitation to Collaborate*. Part One: Human Water Usage and Global Impact. Journal of Sustainability Education. Water and Climate. v. 22. 2020.

SHI, L.; LIU, Z.; YANG, L.; FAN, W. *"Domestic water use and water-saving countermeasures in the process of urbanization in 2021: Jiaozuo City case study"*. Water Science & Technology. v. 85, n. 9. p. 2710-2722. 2022.

SINHA, S. K.; GLYNN, P.; BERK, J.; SEBENS, M. B.; GARDONI, P.; TANG, P.; DYCKMAN, C.; WILLIAMS, W.; GRAF, W. L.; CAUFFMAN, S.; VALLABHANENI, S.; OBEYSEKERA, J.; LOPEZ, D.; MALKAWI, A.; HYER, C.; JOHNSON, V. "*Operationalizing Smart One Water: Collaborative solutions"*. Cambridge Prisms: Water, v. 4, e4, p. 1–19, 2026.

VAZ, I. C. M.; RODRIGUES, E.; GHISI, E. *"Consumo de eletricidade em chuveiros elétricos em São Paulo: O que esperar das mudanças climáticas?"* XVIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. XIV Encontro latino-americano de Conforto no Ambiente Construído. 2025.

WILLIS, R. M.; STEWART, R. A.; GIURCO, D. P.; TALEBPOUR, M. R.; MOUSAVINEJAD, A. "*End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices"*. Journal of Cleaner Production, v. 60, p. 107-115, 2013.

WUTICH, A. "*Estimating Household Water Use: A Comparison of Diary, Prompted Recall, and Free Recall Methods"*. Field Methods. Vol. 21, No. 1. p. 49-68. Arizona: Arizona State University, 2009. DOI: 10.1177/1525822X08325673

YATES, L., & EVANS, D. *"Dirtying Linen: Re-evaluating the sustainability of domestic laundry"*. Environmental Policy and Governance, 26, 101-115. 2016.