

# Determinação do perfil de consumo residencial de água potável apoiado em tecnologia de medição inteligente

Determining the profile of residential water consumption supported by smart metering technology

Vinicius Otto de Aguiar Ritzmann Marzall<sup>1</sup>, Nilo de Oliveira Nascimento<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal Goiano, Trindade, GO, Brasil. E-mail: [vinicius.marzall@hotmail.com](mailto:vinicius.marzall@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, MG, Brasil. E-mail: [niloon@ehr.ufmg.br](mailto:niloon@ehr.ufmg.br)

**Como citar:** Marzall, V. O. A. R., & Nascimento, N. O. (2023). Determinação do perfil de consumo residencial de água potável apoiado em tecnologia de medição inteligente. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 20, e3. <https://doi.org/10.21168/reg.v20e3>

**RESUMO:** Assim como em outras regiões do mundo, o Brasil vem enfrentando com frequência crescente problemas relacionados à escassez hídrica. Entender o uso da água mostra-se um caminho promissor no intuito de planejar os recursos disponíveis e impedir novas crises. Este estudo objetiva estimar o consumo residencial de água potável, identificando o perfil de consumo das famílias dos domicílios monitorados, bem como avaliar de que forma os aspectos sazonais afetam os usos de água potável. Para tanto, foi utilizado medidor inteligente na saída do reservatório superior de 15 residências localizadas na cidade de Goiânia, durante um ano, para coleta dos consumos, e também o desenvolvimento de um algoritmo de aprendizado de máquina para classificação dos dados em usos finais. A pesquisa demonstrou possibilidades na obtenção de dados sobre os usos finais, identificação dos horários de pico de consumo, variações nos usos de água em relação aos dias da semana e também a correlação entre o uso de água e variáveis climáticas, justificando a adoção de medidores inteligentes no planejamento hídrico ao permitir maior profundidade de análise.

**Palavras-chave:** Usos Finais de Água; Medidores Inteligentes; Coleta de Dados; Gestão Hídrica; Perfil de Consumo.

**ABSTRACT:** As in the rest of the world, Brazil is increasingly facing problems related to water scarcity. Understanding water uses are a promising way to plan available resources and prevent new crises. This study aims to estimate the residential consumption of potable water, identify the consumption profile of families in the monitored households, and assess how seasonal aspects affect water use. A smart meter was installed at the outlet of the upper reservoir of 15 homes in Goiânia for a year to collect water consumption and the development of a machine learning algorithm classifying data in end uses. The research demonstrated possibilities in obtaining data on water end uses, identification of peak consumption times, variations in water use about the days of the week, and the correlation between water use and climate variables, justifying the adoption of smart metering solutions in water planning by allowing greater depth of analysis.

**Keywords:** Water End-Use Consumption; Smart Water Meters; Data Collection; Water Management; User Profiling.

## INTRODUÇÃO

Regiões urbanas no Brasil e em outros países, em especial as grandes metrópoles, vêm enfrentando problemas contundentes ligados ao abastecimento e gestão de demanda dos recursos hídricos disponíveis. O crescimento populacional agregado aos aspectos climáticos e investimentos não proporcionais em infraestrutura de abastecimento têm parte importante nesse processo (Silva et al., 2021), sendo necessário desenvolver alternativas para superação desses problemas. Nesse contexto, o uso de tecnologia de medição inteligente mostra-se como um caminho promissor na elaboração de alternativas para mitigar a falta de água nas cidades, atuando no auxílio à tomada de decisão de forma mais assertiva e localizada (Abu-Bakar et al., 2021).

Caracterizar o consumo de água se justifica pela necessidade de se planejar a demanda e a oferta de recursos hídricos (Liu & Mukheibir, 2018), haja vista a alta demanda das grandes cidades para abastecimento humano. Podem ser citadas como exemplo Rio de Janeiro e São Paulo, maiores

Recebido: Outubro 11, 2022. Revisado: Janeiro 04, 2023. Aceito: Janeiro 13, 2023.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution*, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

idades brasileiras e que recentemente têm sofrido com racionamentos, seja pela escassez ou qualidade insuficiente da água ofertada (Silva & Nascimento, 2021). Além destas, moradores de outras cidades, como Goiânia, têm convivido com racionamentos oriundos do crescimento populacional, que aumenta a demanda em proporções maiores que os investimentos na oferta de água (Cunha & Borges, 2015).

Entender também como o uso da água é afetado pelos aspectos climáticos pode ser de grande valia no processo de definição do planejamento da demanda. Hoje há um consenso de que o consumo é afetado diretamente pela temperatura e inversamente pela precipitação e umidade relativa (House-Peters et al., 2010), entretanto, essas correlações variam bastante entre os diversos locais onde foram pesquisados (Breyer et al., 2012; Bakker et al., 2014; Acuña et al., 2020), além da inter-relação das variáveis envolvidas (Chang et al., 2014). Além disso, a análise da variação dos usos finais em relação ao clima também se apresenta como uma oportunidade de estudo, haja vista a escassez de pesquisas no assunto.

Para que seja possível entender essa distinção no uso da água e informações de perfil de consumo, são necessárias informações detalhadas de uso de água nos domicílios, além de precisão nas informações obtidas para serem confiáveis. Nas últimas duas décadas, a utilização de tecnologias de obtenção de dados evoluiu sobremaneira em relação aos métodos de coleta, armazenamento e análise (Giurco et al., 2008, Rahim et al., 2020). Nesse processo evolutivo, os medidores inteligentes, que consistem no uso de registrador de dados (*datalogger*) acoplados a sensores com leitura de consumo em tempo real, permitiram o acompanhamento de consumo residencial de água potável com alto grau de precisão (Cominola et al., 2019). Os dados obtidos com medidores inteligentes de alta precisão permitem a análise de diversos comportamentos de consumo, comparação com informações externas, tais como dados climáticos como temperatura, umidade ou mesmo precipitações, além da identificação dos usos de acordo com o dispositivo sanitário (Bich-Ngoc & Teller, 2018).

Nos casos em que o medidor inteligente é instalado em um só ponto de forma não-individualizada (no hidrômetro da ligação predial ou na prumada do reservatório superior, por exemplo), faz-se necessário o uso de programas prontos ou o desenvolvimento de algoritmos para desagregação dos dados e identificação dos usos finais (Cominola et al., 2019). De acordo com Rahim et al. (2020), dentre os métodos computacionais mais utilizados para essa finalidade estão o algoritmo genético, a clusterização, método da árvore de decisões, as redes neurais artificiais e métodos híbridos, que consistem na junção de dois ou mais métodos. Cabe destacar que o uso dos métodos citados nos algoritmos também está relacionado à qualidade e detalhamento dos dados obtidos, o que depende diretamente do grau de precisão do medidor de consumo e também do intervalo de gravação do *datalogger* (Cominola et al., 2015). Programas previamente desenvolvidos para desagregação dos dados de consumo também são dependentes do uso de *dataloggers* e sensores de consumo com saídas de dados em formatos específicos, limitando seus usos (Sun & Scanlon, 2019).

Apesar de serem observadas pesquisas a respeito do consumo de água e usos finais pelo mundo, como por exemplo as grandes pesquisas realizadas por Beal et al. (2011) na Austrália e Mayer et al. (1999) nos Estados Unidos, não foram encontrados registros de estudos brasileiros que realizaram coleta de dados de alta resolução não-individualizada nas residências. Também não foram identificados estudos publicados sobre perfil de consumo de água residencial e seus usos finais em boa parte do Brasil, estando as pesquisas existentes concentradas principalmente nas regiões sul e sudeste, como exemplo as que foram realizadas por Barreto (2008) e Marinoski et al. (2014), sendo a primeira de caráter individualizado (todos os pontos de consumo possuíam medição individual) e a segunda uma estimativa baseada em entrevistas e parâmetros estatísticos.

Dessa forma, buscando a determinação do perfil de consumo residencial de água potável, foram realizadas instalações de medidores inteligentes em residências do município de Goiânia, com posterior coleta de dados, identificação e classificação dos usos através de algoritmos de aprendizado de máquina desenvolvidos durante a pesquisa. Buscou-se ainda identificar o comportamento de uso dos dispositivos sanitários, bem como o potencial de uso de fontes alternativas em relação ao uso de água potável, como por exemplo, a coleta de água de chuva.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

O local escolhido para realização da pesquisa foi Goiânia, capital de Goiás, localizada na região central do estado. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possui

1.536.097 habitantes, com uma densidade demográfica de 2.107,59 habitantes por km<sup>2</sup> (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020). Goiânia é a principal cidade do estado, possui área de 728,841 km<sup>2</sup> e faz fronteira com nove cidades que também fazem parte de sua Região Metropolitana (Coelho et al., 2021).

Do ponto de vista hidrográfico, Goiânia está numa região que possui 22 sub-bacias, que desaguam nos ribeirões João Leite, Dourados e Anicuns (Borges et al., 2012). Os rios citados desaguam na bacia hidrográfica do rio Meia Ponte, afluente do rio Paranaíba e principal manancial da cidade. O sistema de abastecimento e esgotamento sanitário da cidade é gerido pela empresa pública Saneamento de Goiás, que atende a todo o estado. Do ponto de vista local, ainda não há legislação ou incentivos para utilização de fontes alternativas, existindo ainda uma penalidade no faturamento através da cobrança 10 metros cúbicos de água e esgoto adicionais para usuários que possuam estrutura para fontes alternativas, (Goiás, 2021) não estando claro na legislação pertinente a quais fontes e finalidades se referem.

Na escolha por um grupo específico para determinação dos parâmetros da pesquisa, optou-se pela realização da pesquisa no bairro Jardim Nova Esperança, sendo selecionado em razão do levantamento censitário realizado pelo IBGE apresentar em sua maioria famílias das classes socioeconômicas “C”, “D” e “E”, que representam mais de 50% da população da cidade (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012). Está localizado na região noroeste da cidade, sendo também um dos bairros mais populosos do município, com 15.480 moradores no último levantamento realizado (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012).

### **Crítérios de Seleção de Amostras**

Inicialmente, foram realizadas entrevistas em residências selecionadas aleatoriamente no bairro Jardim Nova Esperança com o uso de questionário desenvolvido para esse fim, onde foram observados seis aspectos:

1. Livre aceite de participação confirmado através de assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE);
2. edificação unifamiliar, com medição individualizada do consumo de água potável;
3. disponibilidade de acesso livre nas instalações hidráulicas para instalação do medidor inteligente;
4. ser o proprietário da edificação, para evitar o caráter transiente de inquilinos (Beal et al., 2011);
5. consumir água proveniente exclusivamente do sistema de abastecimento público; e
6. estar classificado na classe B2 ou inferior, de acordo com o Critério de Classificação Econômica Brasil - CCEB (Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa, 2019).

Em relação ao item 6, o questionário desenvolvido observou as diretrizes da Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. O uso do CCEB permitiu a classificação socioeconômica das famílias através de fatores indiretos, como bens de consumo, grau de instrução do chefe da família e infraestrutura disponível, possuindo as classes A, B1, B2, C1, C2 e DE, em ordem de poder aquisitivo decrescente (Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa, 2019). Cabe ainda ressaltar que nesta pesquisa a comparação entre as classes socioeconômicas apresentadas pelo IBGE e pela ABEP foi feita pela similaridade entre as rendas médias identificadas em cada uma das classes dos respectivos órgãos. Assim, a decisão da utilização das classes B2 ou inferior se equipara a seleção de famílias das classes C, D e E de acordo com o critério do IBGE. Residências que não atenderam a qualquer dos requisitos foram descartadas das etapas subsequentes.

### **Sorteio de Residências e Tempo de Coleta**

Foram entrevistadas aleatoriamente famílias em 76 residências do bairro, contando apenas aquelas em que havia alguém na casa. Dessas, foram desconsideradas 3 cuja classe social estava acima do limite da pesquisa. Além dessas, outras 5 foram retiradas das etapas seguintes por se tratar de residências com mais de uma família dividindo o mesmo consumo de água. Ainda, em outras 8 casas os moradores não demonstraram interesse, tampouco assinaram o TCLE.

No total, 60 famílias dentre os domicílios que responderam ao questionário foram pré-selecionadas para instalação do medidor inteligente. Entretanto, devido às limitações de mão-de-obra e orçamento da pesquisa, 15 foram selecionadas através de sorteio para a instalação dos medidores. Em cada domicílio com equipamento instalado, foram coletadas informações de consumo durante o período de 1 ano, compreendido entre setembro de 2020 e agosto de 2021.

## Descrição Técnica do Medidor Inteligente

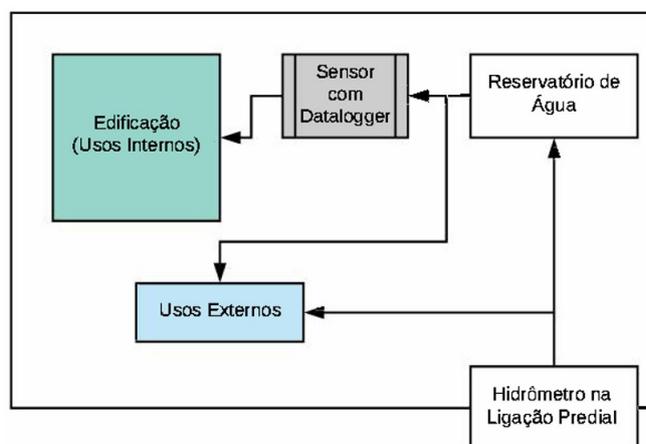
O medidor inteligente compõe-se de dois equipamentos: o primeiro é um hidrômetro do tipo ultrassônico da marca DIEHL, modelo HYDRUS, com leitura de vazão mínima de  $0,014 \text{ litro}\cdot\text{segundo}^{-1}$  (ou  $10 \text{ litros}\cdot\text{hora}^{-1}$ ) e saída para pulso indutivo a cada 100 ml (DIEHL, 2020). O outro equipamento que compõe o medidor inteligente é um sistema embarcado para coleta de dados, desenvolvido especificamente para a pesquisa, e que recebe os pulsos indutivos gerados pelo hidrômetro a cada 1 segundo, fazendo a gravação e armazenamento dos consumos com a data e a hora de ocorrência (Figura 1).



**Figura 1** – Sistema embarcado para coleta de dados utilizado na pesquisa (fechado e aberto).  
**Fonte:** Autores (2022).

## Instalação do Equipamento e Coleta de Dados

A pesquisa foi realizada com a coleta de dados de alta resolução de forma não-individualizada, ou seja, o medidor inteligente foi instalado somente na prumada do reservatório superior interno de cada residência, coletando conjuntamente todos os usos internos, conforme apresentado na Figura 2.



**Figura 2** - Esquema de montagem do medidor inteligente.  
**Fonte:** Autores (2022).

O monitoramento proposto não coletou dados de consumo dos pontos de utilização que são alimentados diretamente pelo hidrômetro da ligação predial (Figura 2). Dessa forma, os usos de dispositivos externos (torneiras de jardim e mangueiras, por exemplo) foram definidos através da diferença entre o consumo lido no hidrômetro de entrada (da concessionária) em relação ao hidrômetro instalado junto ao *datalogger*. Cabe citar que o hidrômetro instalado pela concessionária é do tipo volumétrico, com erro médio de  $\pm 2\%$  e vazão mínima de 15 litros por hora, menos preciso que o hidrômetro ultrassônico utilizado na pesquisa ( $\pm 1\%$  de erro médio e vazão mínima de 10 litros/hora), sendo essa diferença de precisão desprezada na presente pesquisa. Os dados gravados pelo *datalogger* foram coletados presencialmente em cada residência durante a pesquisa, mensalmente, sendo descarregados em computador portátil.

## Leitura e Classificação dos Dados

De posse dos dados brutos, foi necessário como primeiro tratamento a transformação dos pulsos em vazão, e então sua normalização. Para isso, foram observados os procedimentos descritos por Peñalver Et al. (2017), onde são realizadas duas médias móveis sequenciais de ordens distintas ou não, de acordo com a precisão dos pulsos gerados e da frequência de gravação. Para a normalização das vazões, os referidos autores recomendam a realização de uma geometrização, que consiste em uma nova média móvel de ordem mais elevada (entre 20 e 30) com posterior arredondamento dos resultados. Assim, para esta pesquisa, para transformação dos pulsos em vazão foram utilizadas duas médias móveis consecutivas de ordem 3. Para normalização dos resultados foi considerada mais uma média móvel de ordem 20 e o arredondamento da vazão encontrada foi feito em múltiplos de 0,02 litros por segundo.

Com os dados geometrizados, os episódios são identificados através do início de uma vazão até que retorne a ser nula. Há a incidência de episódios com eventos isolados e combinados. Para a separação dos eventos combinados, seguiu-se a metodologia proposta por Nguyen et al. (2015), através de um algoritmo de vetor gradiente, que detecta variações no aumento e diminuição da vazão dos eventos de uso, permitindo a separação de eventos.

Após a completa instalação e confirmação de operação dos medidores inteligentes, foram realizadas visitas a todas as residências para aferição e anotação em tempo real de consumos de água, sendo eles provocados a pedido ou espontâneos. Além disso, os moradores anotaram por uma semana os horários de ocorrência dos consumos de maior volume, como por exemplo a máquina de lavar. Com esse procedimento, foi possível identificar manualmente os eventos dos períodos acompanhados. Com os dados reais de consumo disponíveis, foram preenchidos manualmente em média 2000 eventos por residência (equivalente a um mês de dados coletados) com a finalidade de desenvolvimento da matriz de treinamento.

Por fim, aplicou-se o conceito de redes neurais artificiais para classificação dos eventos de consumo. Utilizou-se neste trabalho o pacote *Multi-layer Perceptron*, um algoritmo de aprendizado supervisionado baseado em uma matriz com dados de treinamento e parâmetros de comparação (Buitinck et al., 2013). As variáveis determinantes para classificação dos eventos foram vazão máxima, vazão média, duração do evento, tempo de ascensão do evento até o pico de vazão, tempo de descenso da vazão até seu término e hora de ocorrência. As matrizes de aprendizado foram formadas com os eventos classificados manualmente e descritos no parágrafo anterior. Para verificação e validação da acurácia de classificação, as redes neurais treinadas classificaram os mesmos dados utilizados na matriz de treinamento, sendo medida através do quociente entre as classificações feitas corretamente em relação ao número total de eventos submetidos à classificação.

Cabe ressaltar que devido à variação considerável entre instalações hidráulicas, alturas de coluna d'água e aparelhos sanitários de cada residência, foram desenvolvidos algoritmos de identificação específicos para cada residência monitorada, com a necessidade de mudanças no número de neurônios, camadas ocultas e matrizes de aprendizado diferentes para cada domicílio. Devido a esse aspecto, as acurácias das redes neurais desenvolvidas variaram entre 65% e 76%, estando principalmente nos usos de torneira aqueles com pior nível de classificação em todas as residências devido a sua maior variabilidade em relação às demais destinações. A pressão de água disponível também se mostrou diretamente proporcional da melhoria do processo de classificação. Além disso, foi realizada uma revisão de todos os resultados baseados nos parâmetros coletados manualmente para validação das classificações.

Os vazamentos tiveram um tratamento diferente das demais destinações identificadas, pois atrapalhavam o treinamento das redes neurais, e foram separados antes da classificação dos demais consumos para evitar ruídos durante o processo. Eles foram identificados como sendo eventos de longa duração (acima de 1200 segundos), constantes e de baixa vazão (até 0,02 litros por segundo). Vazamentos curtos, ou mesmo falhas momentâneas nas válvulas dos dispositivos sanitários não foram identificados, sendo classificados juntos aos usos que os ocasionaram.

## Análise dos Dados Classificados

De posse dos dados classificados, foram realizadas as seguintes análises:

- definição dos usos prováveis de água;
- consumo diário médio por residência;
- consumo diário médio por habitante;
- consumo horário por uso final interno;
- padrões de consumo por uso final;
- correlação entre os usos de água e aspectos climáticos.

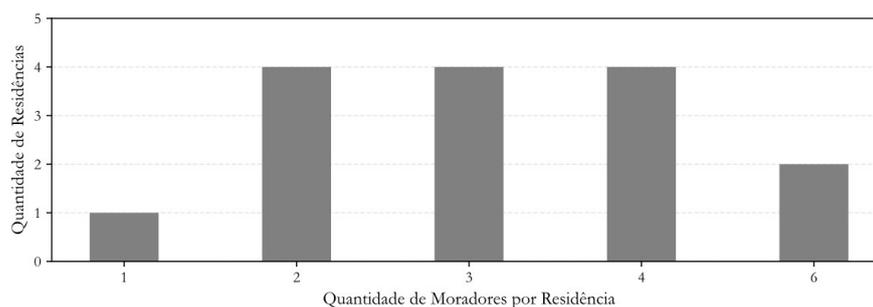
Para realização da proporção de usos finais, foi realizada média aritmética simples entre os consumos diários por habitante e residencial das 15 famílias participantes do estudo. Para a determinação dos padrões dos usos finais, foram utilizados os eventos classificados em todas as edificações, com os quais foram coletados o volume médio, mediana, primeiro e terceiro quartis, desvio padrão de cada utilização e a frequência de eventos.

A comparação dos consumos internos de água em relação aos dados climáticos foi feita com base nas médias diárias de consumo residencial de água potável e dados de temperatura e umidade médias obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (2022) para o mesmo período e local geográfico da pesquisa. Os consumos considerados nesta etapa foram os usos internos totais e usos finais do chuveiro e torneira, mais dependentes do comportamento e, portanto, mais suscetíveis às variações climáticas. Para os cálculos de correlação foi considerado o coeficiente de correlação de Pearson (R).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Aspectos Demográficos e Socioeconômicos

Nos 15 domicílios onde o medidor inteligente ficou instalado havia em média 3,27 moradores por residência (2,47 adultos e 0,8 crianças), e a maior parte dessas casas possuíam de 2 a 4 moradores (Figura 3), permanecendo nessas quantidades até o final da pesquisa. Essa média representa proximidade com o número de moradores da cidade de Goiânia, que é de 3,3 habitantes por domicílio (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012). Sobre os dispositivos sanitários em cada residência havia, em média, 1,88 chuveiros e bacias sanitárias, 5,93 torneiras e 1,07 máquinas de lavar. Destes, 13 domicílios possuíam descarga com caixa (acoplada ou elevada) e somente 2 com válvula.



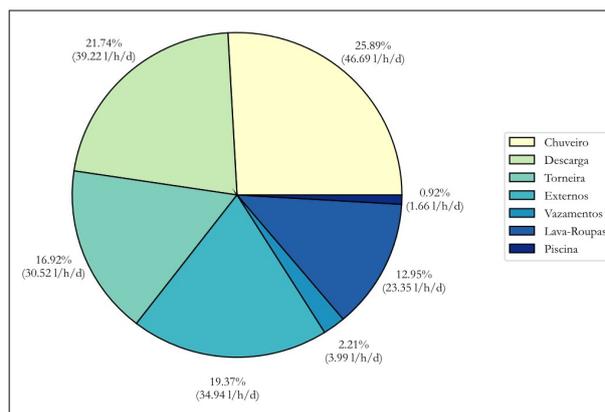
**Figura 3** - Moradores por residência com medidor inteligente instalado.

**Fonte:** Autores (2022).

Outro aspecto observado é que de acordo com o CCEB, 6 (40%) das residências sorteadas se enquadraram na classe C2, 4 (27%) na classe C1 e as outras 5 (33%) na classe B2, com uma média de renda mensal estimada entre R\$ 1.748,59 na classe C2 e R\$ 5.641,64 na classe B2 (Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa, 2019). Não se observou correlação entre o consumo por habitante das famílias das classes de maior renda estimada para as de menor renda consideradas no estudo ( $R \approx 0$ ). Como o critério selecionado faz estimativa de renda baseada em pontuação relacionadas à posse de bens de consumo e infraestrutura disponível, pode ocorrer sobreposições nas rendas dos participantes da pesquisa (Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa, 2019). Cabe citar ainda que o número de residências de classe DE identificadas no estudo foi o menor dentre todas as categorias do escopo delimitado, e não foram selecionadas apenas pela aleatoriedade da seleção proposta.

### Perfil de Consumo Médio e Usos Finais de Água

Do período de coleta, foram gravados cerca de 3,7 milhões linhas de consumo em pulsos pelo *datalogger* quando somadas todas as residências monitoradas. Desses dados, mais de 290 mil eventos foram identificados pelo algoritmo de classificação e geometrização empregado. Em média, observou-se que cada residência consumiu ao todo (usos internos e externos) 541,11 litros de água potável por dia. Já o consumo individual foi de 180,37 litros por habitante por dia ( $l \cdot h^{-1} \cdot d^{-1}$ ). Com os eventos classificados foi possível também identificar a destinação final provável da água potável consumida, conforme apresentado na Figura 4.



**Figura 4** - Média diária de consumo de água de acordo com destinações finais em litros por habitante por dia.  
**Nota:** "l/h/d" significa litros por habitante por dia. **Fonte:** Autores (2022).

Ao analisar mais detidamente a Figura 4, nota-se que o chuveiro, com  $46,69 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$  (25,89%), a descarga sanitária, com  $39,22 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$  (21,74%) e os usos externos (irrigação, lavagem de veículos ou de piso, por exemplo), com  $34,94 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$  (19,37%), representam mais de 65% (acima de  $120 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ) dos consumos residenciais nas amostras pesquisadas, sendo os dois últimos usos para os quais pode ser considerada a substituição por águas pluviais (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2019) ou de reuso, por exemplo. Os consumos de torneiras e de lavagem de roupas (16,92% e 12,95%, respectivamente) têm representatividade importante nas residências, com volume superior a  $50 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ .

Dois casas dentre as amostras monitoradas possuíam piscina, obtendo assim média de uso de  $1,66 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$  (0,92%). Ao levar em consideração somente as duas casas com piscina para fazer a média, o consumo sobe a  $12,45 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , que se comparado com o consumo médio por residência corresponderia a 6,9% do total. Os vazamentos foram identificados em três das casas, resultando em  $3,99 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$  (2,21%) na média e chegando a  $32,36 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$  na residência com a pior situação de perda no primeiro mês de monitoramento.

Cabe ainda citar que o uso de bacias sanitárias teve sua proporção aumentada por conta das duas das residências cujo sistema de descargas consistia no uso de válvula. Nestas, o consumo de água para essa finalidade teve uma média de  $65,05 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , enquanto as demais, cujo sistema de descarga era em caixa acoplada, a média foi de  $35,25 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ , consumo consideravelmente inferior.

Na Tabela 1 observa-se comparação dos resultados com dados de outras pesquisas que também utilizaram de medidores inteligentes para determinação da destinação final da água potável em residências. Por se tratar de método relativamente recente, no Brasil foram verificados apenas dois estudos com a utilização dos medidores inteligentes, e mesmo assim através do método individualizado, onde todos os pontos da casa foram medidos separadamente. Enquanto o estudo de Rocha & Barreto (1999) contou com apenas uma residência analisada por um mês, o trabalho de Barreto (2008) teve maior alcance, com grande destaque para os consumos de torneiras e máquina de lavar, não possuindo usos externos por serem apartamentos. No âmbito internacional, o estudo de Mayer et al. (1999), realizado nos Estados Unidos, analisou 1188 residências, com destaque para descarga e máquina de lavar, bem como o alto volume em vazamentos. Em relação a todas as pesquisas identificadas, aquelas com maior similaridade nas proporções de consumo em relação ao presente estudo são as de Willis et al. (2013) e especialmente a de Beal & Stewart (2014), realizadas na Austrália, cujos maiores consumos foram os chuveiros e descargas.

**Tabela 1** - Comparativo entre pesquisas de determinação do perfil de consumo no Brasil e no mundo.

Pesquisa	Ano	Local	Nº Amostras	Chuveiro	Descarga	Torneiras	Máq. Lavar	Piscina
Esta Pesquisa	-	Goiânia-GO	15	25,9%	21,7%	16,9%	13,0%	0,9%
Rocha e Barreto	1999	São Paulo-SP	1	55,0%	5,0%	29,0%	11,0%	*
Barreto	2008	São Paulo-SP	100	13,9%	5,5%	21,6%	28,4%	*
Mayer ET AL.	1999	Estados Unidos	1188	16,9%	26,7%	15,7%	21,7%	*
Willis ET AL.	2013	Austrália	423	33,0%	12,0%	17,0%	19,0%	*
Beal ET AL.	2014	Austrália	151	29,3%	20,5%	15,2%	19,1%	*

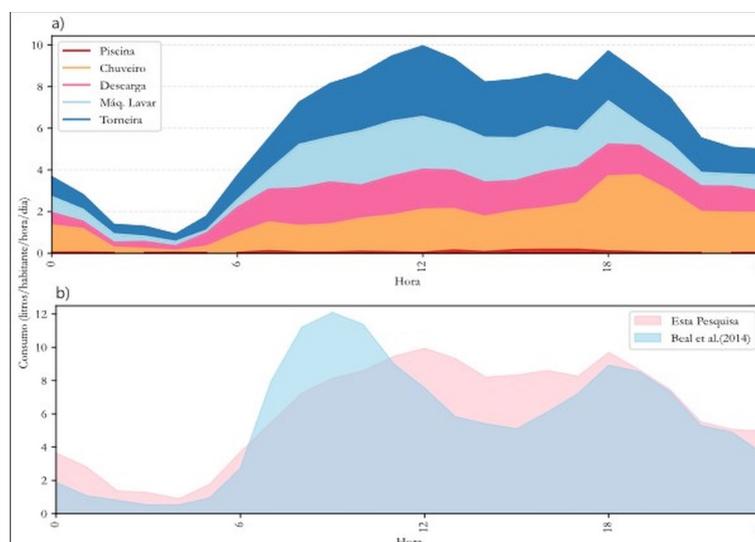
  

Pesquisa	Ano	Local	Nº Amostras	Banheira	Lava-Louças	Vazamentos	Usos Externos
Esta Pesquisa	-	Goiânia-GO	15	*	*	2,2%	19,4%
Rocha e Barreto	1999	São Paulo-SP	1	*	*	*	*
Barreto	2008	São Paulo-SP	100	*	*	*	30,6%
Mayer ET AL.	1999	Estados Unidos	1188	1,7%	1,4%	13,7%	2,2%
Willis ET AL.	2013	Austrália	423	4,0%	1,0%	1,0%	12,0%
Beal ET AL.	2014	Austrália	151	4,0%	1,0%	1,0%	12,0%

\* Uso não verificado na pesquisa.

**Fonte:** Autores (2022).

Com relação à evolução dos consumos por hora, através da Figura 5a é possível observar o comportamento de consumo nos usos internos das casas. Nota-se que há dois picos de uso, um por volta do meio-dia e outro após as 18 horas, podendo estar relacionado a aspectos retorno dos moradores após atividades escolares ou mesmo trabalho de meio período. Além disso, percebe-se que entre 1 e 5 horas da manhã o consumo é bem inferior ao restante do dia.



**Figura 5** - Consumo médio horário: a) conforme os usos finais; b) comparação com resultado encontrado por Beal & Stewart (2014).

**Fonte:** Autores (2022).

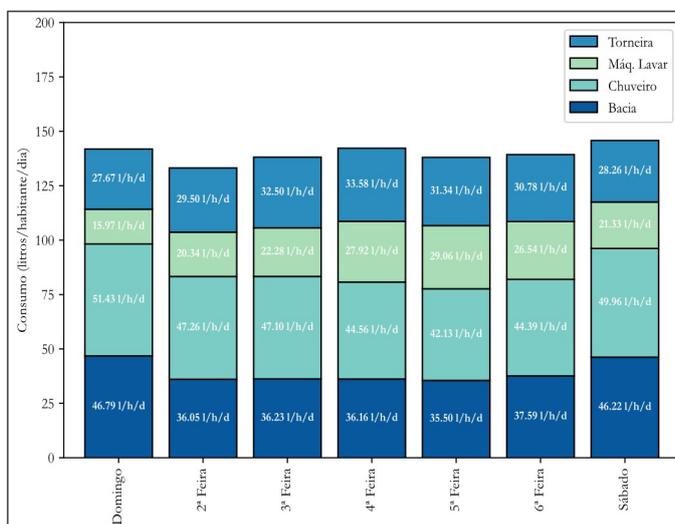
Em relação aos usos finais, percebe-se também pela Figura 5a que o chuveiro tem uso maior entre as 18 e 19 horas. A descarga possui volume de uso praticamente constante das 6 às 21 horas e máquina de lavar e a torneira se comportam de modo similar entre as 6 e as 18 horas. A piscina teve poucos acionamentos devido à sua baixa frequência, sendo identificado seu enchimento normalmente no período da tarde.

Outra questão interessante está relacionada ao formato do gráfico apresentado, que difere em relação ao estudo de Beal & Stewart (2014), onde percebe-se que o consumo horário possui picos muito mais delimitados no começo da manhã e a partir das 18 horas (Figura 5b). Essa diferença em relação a este estudo pode estar relacionada a questões como desemprego, realização de trabalho remoto ou redução de carga horária presencial que foram incentivados com o início da pandemia de COVID-19, deixando o consumo de água mais constante em horários que não os considerados normalmente de pico, sendo necessário também levar em conta a diferença de tamanho entre as amostras de cada pesquisa, além das questões culturais presentes.

Os dias da semana também apresentaram relevância no comportamento de consumo das residências pesquisadas (Figura 6). Em uma primeira vista, aparentemente os consumos internos em sua totalidade tiveram pouca variação entre os dias da semana. Entretanto, ao observar cada uso final em separado, é possível notar diferenças importantes. O consumo de água potável nas bacias sanitárias no final de semana (média de  $46,50 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ) esteve 28% superior ao consumo médio durante os dias úteis ( $36,31 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ). Comparando o consumo de bacia sanitária com o trabalho de Chaib et al. (2015), observa-se uma proximidade dos resultados durante os dias úteis, para os quais eles indicaram  $36 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$  e estando quase oito litros abaixo da informação descrita para o fim de semana ( $54 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ). O chuveiro também apresentou média superior de consumo aos sábados e domingos ( $50,70 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ), na ordem de 12% em relação aos dias úteis ( $45,09 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ). Em contrapartida, os usos de torneira e máquina de lavar apresentaram valores maiores no meio da semana, em especial o último, com consumo 35% superior ( $25,23 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ) em relação à média encontrada para o final de semana ( $18,65 \text{ l.h}^{-1}.\text{d}^{-1}$ ).

Na sequência, foi realizada a análise detida de cada acionamento realizado para uso final interno da residência, condensado na Tabela 2. Percebe-se que a torneira é o uso com maior frequência, e também é o uso de menor volume por utilização, além da constatação de desvio padrão bem elevado, que pode ser explicado pela multifuncionalidade desse tipo de uso. Em contrapartida, o uso de descarga é o que possui menor desvio padrão, muito pela mecanização em que consiste seu acionamento. A máquina de lavar também possui desvio padrão consideravelmente elevado, e isso se deve a variação do tipo e marca do eletroeletrônico utilizado em cada residência. Em relação ao chuveiro, o volume de uso pode ser considerado menos da metade

do que apresentado em estudos realizados na Austrália e nos Estados Unidos que se utilizaram de metodologia similar (Rathnayaka et al., 2015; Stewart et al., 2009), e por ser um uso que depende fortemente do comportamento de consumo, possui um desvio padrão elevado. Por fim, a piscina, presente somente em duas residências, também apresentou grande variação no consumo tendendo a usos de maior volume em relação aos demais dispositivos das residências em que estavam presentes.



**Figura 6** – Consumo médio de alguns aparelhos hidráulicos em relação aos dias da semana.  
**Fonte:** Autores (2022).

**Tabela 2** - Descrição estatística dos usos finais de acordo com o volume.

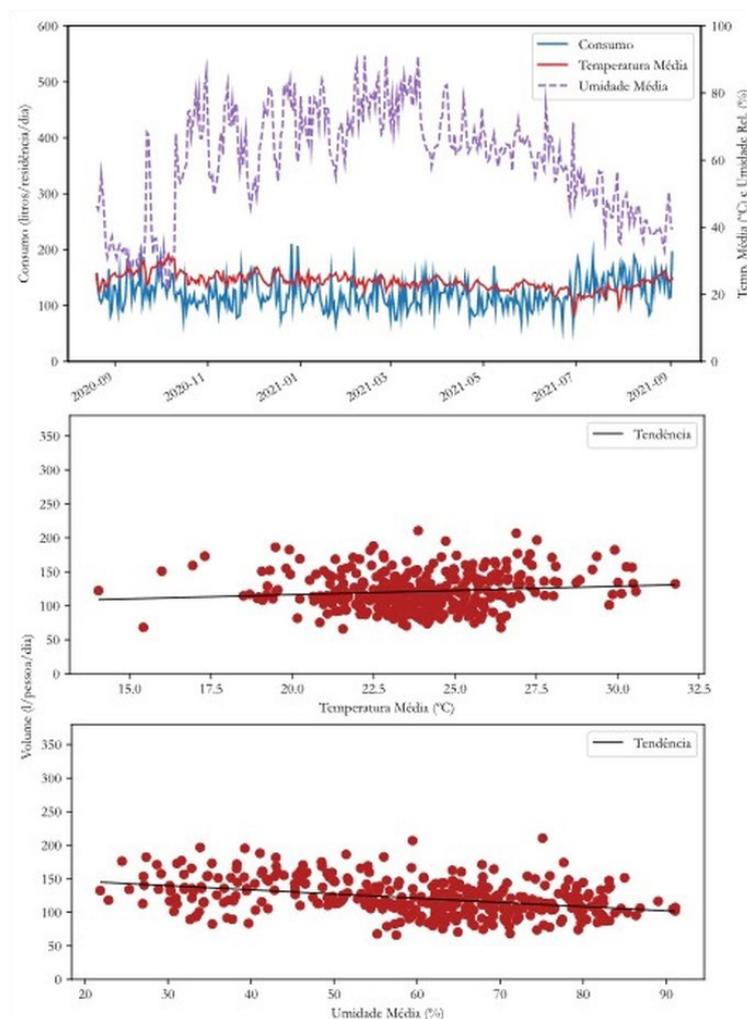
Estadística	Chuveiro	Descarga	Torneira	Máq. Lavar	Piscina
Frequência de Eventos	32.869	93.856	187.994	11.234	112
Acionamentos/por habitante.dia	1,84	5,24	10,51	0,63	0,05
Média de Volume/Acionamento (litros)	25,37	7,48	2,9	37,06	172,73
Desvio Padrão	15,16	3,27	9,71	28,31	154,45
1º Quartil	8,7	4	1	22	16,45
Mediana	17,69	5,4	1,39	37,98	94,93
3º Quartil	20,33	7,22	2,26	57,77	206,6

**Fonte:** Autores (2022).

Comparando o consumo associado às bacias sanitárias em relação a trabalhos que fazem estimativas para substituição por fontes alternativas de abastecimento, observa-se que os 5,24 acionamentos médios diários por pessoa da presente pesquisa estão ligeiramente superiores aos valores observados por Reiber (2012) e Roebuck et al. (2011) cuja média semanal é de 4,57 acionamentos por dia. Já em relação ao volume, o consumo médio de 7,48 litros por acionamento está menor que o consumo médio descrito por Tomaz (2011), de 9 litros por acionamento, estando, entretanto, dentro da faixa prevista pelo mesmo autor próximo ao limite inferior (de 6,8 a 18 litros). O consumo diário médio por habitante de 39,22 litros ficou 4,85% abaixo do volume descrito por Chaib et al. (2015), que foi de 41,22 litros em média para todos os dias da semana. As diferenças encontradas entre resultados podem estar relacionadas ao maior número de domicílios da presente pesquisa que possuem descarga com caixa acoplada ou elevada, podendo contribuir na redução desse valor.

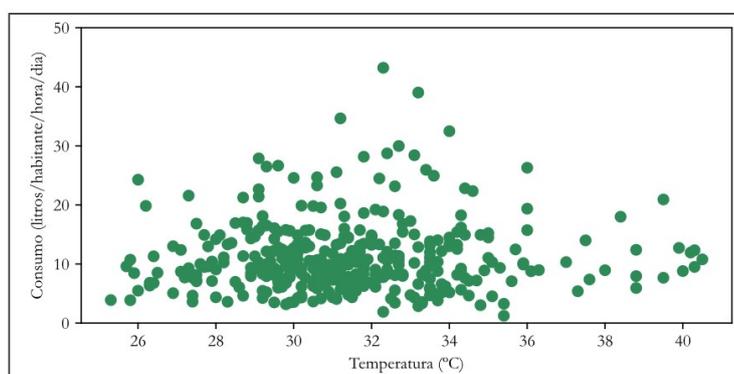
### Influência dos Aspectos Climáticos Sobre o Consumo Interno

Comparando o consumo interno diário médio com os valores médios diários de umidade relativa do ar e temperatura obtidos através do INMET, construíram-se os gráficos da Figura 7. Ao correlacionar o consumo interno diário por habitante com a temperatura média diária, observou-se uma correlação desprezível entre as variáveis ( $R=0,12$ ). Já em relação a umidade relativa do ar média, o coeficiente de correlação com o consumo foi de  $R=-0,38$ , apresentando uma dependência fraca entre as variáveis comparadas. Esses resultados vão ao encontro do estudo realizado por House-Peters et al. (2010), onde não foi identificada uma correlação clara entre as variações climáticas independentes e o consumo de água.



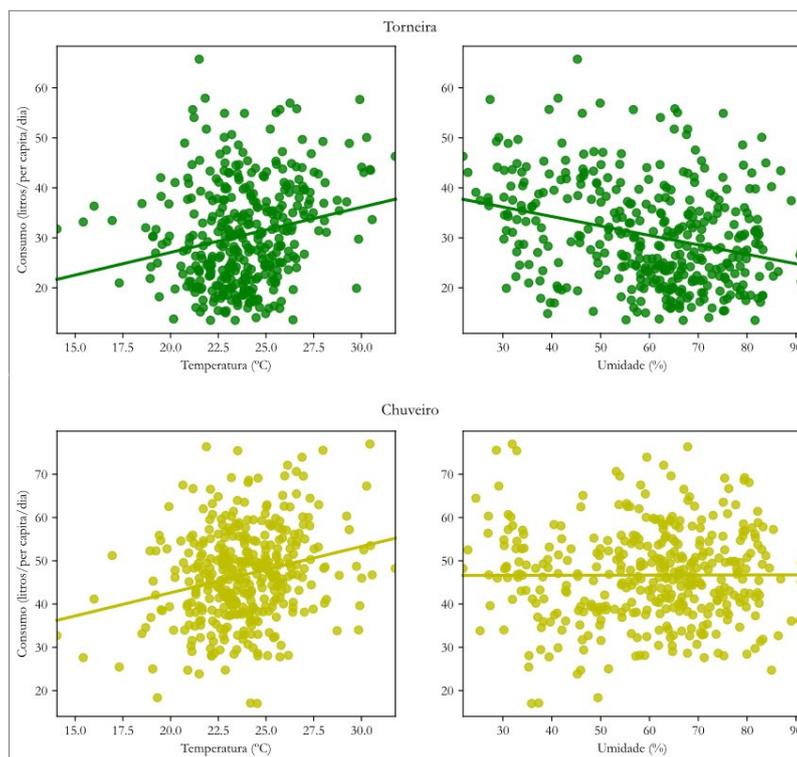
**Figura 7** - Médias diárias de consumo de água, umidade relativa do ar e temperatura médias e correlação entre essas variáveis.  
**Fonte:** Autores (2022).

Buscou-se ainda observar a correlação entre os usos internos e a temperatura em horários específicos do dia, como apresentado por exemplo na Figura 8, que se refere aos consumos médios diários de água entre às 18 e 19 horas (um dos picos de consumo diários) para todo o período estudado. É possível notar que também não fica clara uma correlação entre as variáveis, entretanto pode-se perceber um acúmulo de maiores consumos na faixa entre 28°C e 34°C durante o horário especificado.



**Figura 8** - Correlação de consumos internos e temperatura entre às 18 e 19 horas durante o período do estudo.  
**Fonte:** Autores (2022).

Observando os usos finais, em especial os de chuveiro e torneira, mais dependentes do comportamento que os demais listados, também é possível correlacioná-los com a temperatura e umidade média diária, conforme apresentado na Figura 9. No caso do chuveiro, os coeficientes de correlação do seu uso em relação a temperatura apresentaram fraca correlação ( $R=0,27$ ), enquanto quando comparado com a umidade não houve correlação entre as variáveis ( $R\approx 0$ ). Em relação aos usos de torneira, também foi identificada uma fraca correlação com a temperatura ( $R=0,22$ ), e em relação à umidade foi identificada uma correlação negativa fraca ( $R=-0,29$ ), a redução da necessidade de irrigação das plantas e também ao uso de águas pluviais através de captação não estruturada para finalidades internas, como por exemplo no posicionamento de tambores para coleta da água da calha. Tais resultados evidenciam ainda que, nas casas acompanhadas, os consumos gerais internos apresentam comportamento similar aos usos finais de chuveiro e torneira em relação à temperatura média diária.



**Figura 9** – Correlação dos usos de chuveiro e torneira em relação a temperatura e umidade relativa do ar média diária.

Fonte: Autores (2022).

## CONCLUSÕES

Esta pesquisa buscou apresentar um perfil de consumo residencial de água potável, em conjunto com padrões de uso dos dispositivos sanitários adotando o uso de medidores inteligentes na coleta dos consumos residenciais, agregados a algoritmos computacionais para identificação e classificação dos usos finais. Com base nisso, os resultados apresentados durante a pesquisa demonstraram o potencial no uso de medidores inteligentes no processo de obtenção de informações de consumo, com uso em diversas finalidades para melhoria da gestão das águas no meio urbano.

Em relação ao perfil de consumo de água potável de acordo com os usos finais, foi possível quantificar o potencial para o uso de fontes alternativas em finalidades não-potáveis, trazendo mais assertividade a projetos de implantação de sistemas de aproveitamento pluvial ou mesmo reúso de águas cinzas. Além disso, os resultados obtidos nesse trabalho podem canalizar esforços de redução de consumo através de campanhas de incentivo ao consumo racional, buscando a redução dos usos finais de maior representatividade ao ir de encontro com as práticas dos consumidores.

Cabe dizer que ainda é pouco usual a utilização dos medidores inteligentes de água, possivelmente por seu elevado custo de implantação e pequena disponibilidade no mercado. Outro ponto importante está relacionado a dificuldade da instalação do equipamento após o reservatório interno da residência, sendo assim necessário o desenvolvimento de algoritmos específicos para cada

casa medida no processo de classificação dos dados em usos finais. O desenvolvimento de algoritmos também se apresenta com um desafio de aplicação em larga escala, uma vez que neste trabalho houve a necessidade do desenvolvimento de uma matriz para cada residência, o que demandou muito tempo e acurácia variada. Dessa forma, reduzir os custos dos medidores inteligentes aliado ao aproveitamento do hidrômetro na ligação predial para coleta dos dados gerariam potencial para difusão e ampliação no uso dessa ferramenta.

Por fim, a popularização e difusão sistemática do uso de medidores inteligentes pode gerar diversos benefícios além dos abordados durante este trabalho. A detecção de vazamentos em tempo real, aumento na precisão de medição, leitura automatizada para faturação da água e melhoria do conhecimento dos moradores sobre os próprios usos de água, gerando potencial para racionalização do consumo, são algumas possibilidades a serem exploradas, não estando restritas a elas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da pesquisa via taxa de bancada e concessão de bolsa.

## REFERÊNCIAS

- Abu-Bakar, H., Williams, L., & Hallett, S. H. (2021). A review of household water demand management and consumption measurement. *Journal of Cleaner Production*, 292, 125872.
- Acuña, G. I., Echeverría, C., Godoy, A., & Vásquez, F. (2020). The role of climate variability in convergence of residential water consumption across Chilean localities. *Environmental Economics and Policy Studies*, 22(1), 89-108.
- Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa – ABEP. (2019). *Critério de classificação econômica Brasil*. São Paulo: ABEP.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2019). *NBR 15527: aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Bakker, M., Van Duist, H., Van Schagen, K., Vreeburg, J., & Rietveld, L. (2014). Improving the performance of water demand forecasting models by using weather input. *Procedia Engineering*, 70, 93-102.
- Barreto, D. (2008). Perfil do consumo residencial e usos finais da água. *Ambiente Construído*, 8(2), 23-40.
- Beal, C. D., & Stewart, R. A. (2014). Identifying residential water end uses underpinning peak day and peak hour demand. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(7), 04014008.
- Beal, C., Stewart, R., Huang, T., & Rey, E. (2011). *Southeast Queensland residential end use study*. Brisbane, Australia: Urban Water Security Research Alliance.
- Bich-Ngoc, N., & Teller, J. (2018, May). A review of residential water consumption determinants. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 685-696). Cham: Springer.
- Borges, R. O., Neves, C. B., & Castro, S. S. (2012). Delimitação de áreas de preservação permanente determinadas pelo relevo: aplicação da legislação ambiental em duas microbacias hidrográficas no estado de Goiás. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 12(3), 109-114.
- Breyer, B., Chang, H., & Parandvash, G. H. (2012). Land-use, temperature, and single-family residential water use patterns in Portland, Oregon and Phoenix, Arizona. *Applied Geography (Sevenoaks, England)*, 35(1-2), 142-151.
- Buitinck, L., Louppe, G., Blondel, M., Pedregosa, F., Mueller, A., Grisel, O., Niculae, V., Prettenhoffer, P., Gramfort, A., Grobler, J., Layton, R., Vanderplas, J., Joly, A., Holt, B., & Varoquaux, G. (2013). API design for machine learning software: experiences from the scikit-learn project. *arXiv preprint arXiv:1309.0238*.
- Chaib, E. B., Rodrigues, F. C., Maia, B. H., & Nascimento, N. O. (2015). Avaliação do potencial de redução do consumo de água potável por meio da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações unifamiliares. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(3), 605-614.
- Chang, H., Praskievicz, S., & Parandvash, H. (2014). Sensitivity of urban water consumption to weather and climate variability at multiple temporal scales: the case of Portland, Oregon. *International Journal of Geospatial and Environmental Research*, 1(1), 7.
- Coelho, F. R., Rubin, J. C. R., & Silva, A. M. T. C. (2021). Análise de qualidade da água no alto curso do rio meia ponte entre 2013 e 2018. *Revista EVS-Revista de Ciências Ambientais e Saúde*, 47(1), 8616.

- Cominola, A., Giuliani, M., Piga, D., Castelletti, A., & Rizzoli, A. E. (2015). Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: a review. *Environmental Modelling & Software*, 72, 198-214.
- Cominola, A., Nguyen, K., Giuliani, M., Stewart, R. A., Maier, H. R., & Castelletti, A. (2019). Data mining to uncover heterogeneous water use behaviors from smart meter data. *Water Resources Research*, 55(11), 9315-9333.
- Cunha, D. F., & Borges, E. M. (2015). Urbanização acelerada: risco para o abastecimento de água na Região Metropolitana de Goiânia. *Geo UERJ*, 26, 226-244.
- DIEHL. (2020). *Hydrus Ultrasonic Meter Datasheet - 2020*. Recuperado em 28 de janeiro de 2021, de <https://www.diehl.com/metering/en/portfolio/water-metering/water-metering-product/hydrus/63697/>.
- Giurco, D., Carrard, N., Wang, X., Inman, M., & Nguyen, M. (2008, March). Innovative smart metering technology and its role in end-use measurement. In *Third National Water Efficiency Conference (Water Efficiency 2008)*. Surfers Paradise, Australia: Australian Water Association.
- Goiás. Saneamento de Goiás S.A. (2021). Resolução Normativa 185 de 22 de dezembro de 2021. Dispõe o cálculo da tarifa média máxima (M0) e fator X da revisão tarifária periódica (RTP). Recuperado em 28 de janeiro de 2021, de [https://www.saneago.com.br/#/tarifas/tarifas\\_agua\\_esgoto](https://www.saneago.com.br/#/tarifas/tarifas_agua_esgoto)
- House-Peters, L., Pratt, B., & Chang, H. (2010). Effects of urban spatial structure, sociodemographics, and climate on residential water consumption in Hillsboro, Oregon 1. *Journal of the American Water Resources Association*, 46(3), 461-472.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2012). *Censo Brasileiro de 2010*. Rio de Janeiro: IBGE.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2020). *Estimativas da população - 2020*. Recuperado em 25 de janeiro de 2021, de <https://cutt.ly/Gj4F06s>.
- Instituto Nacional de Meteorologia. (2022). *Banco de dados meteorológico – BDMEP*. Recuperado em 28 de janeiro de 2021, de <https://bdmep.inmet.gov.br/>
- Liu, A., & Mukheibir, P. (2018). Digital metering feedback and changes in water consumption—A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 134, 136-148.
- Marinoski, A. K., Vieira, A. S., Silva, A. S., & Ghisi, E. (2014). Water end-uses in low-income houses in Southern Brazil. *Water (Basel)*, 6(7), 1985-1999.
- Mayer, P. W., DeOreo, W. B., Opitz, E. M., Kiefer, J. C., Davis, W. Y., Dziegielewski, B., & Nelson, J. O. (1999). *Residential end uses of water*. Denver: AWWA Research Foundation.
- Nguyen, K. A., Stewart, R. A., Zhang, H., & Jones, C. (2015). Intelligent autonomous system for residential water end use classification: autoflow. *Applied Soft Computing*, 31, 118-131.
- Peñalver, P. L., Rubi, P. G., Salas, V. P., Del Rivero, J. A. S., Morales, R. D., Garcia, J. L., & Caso, S. G. (2017). *A pattern recognition system for the identification of residential uses of water*. Madrid: Canal de Isabel II.
- Rahim, M. S., Nguyen, K. A., Stewart, R. A., Giurco, D., & Blumenstein, M. (2020). Machine learning and data analytic techniques in digital water metering: a review. *Water (Basel)*, 12(1), 294.
- Rathnayaka, K., Malano, H., Maheepala, S., George, B., Nawarathna, B., Arora, M., & Roberts, P. (2015). Seasonal demand dynamics of residential water end-uses. *Water (Basel)*, 7(1), 202-216.
- Reiber, M. (2012). Social-Economic influences on the rainfall harvesting potential on large-city scale: assessments for the municipality of Belo Horizonte, Brazil (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Rocha, A. L., & Barreto, D. (1999). Perfil do consumo de água de uma habitação unifamiliar. In *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental* (Vol. 20). Rio de Janeiro: ABES.
- Roebuck, R. M., Oltean-Dumbrava, C., & Tait, S. (2011). Whole life cost performance of domestic rainwater harvesting systems in the United Kingdom. *Water and Environment Journal: the Journal / the Chartered Institution of Water and Environmental Management*, 25(3), 355-365.
- Silva, J. F., & Nascimento, L. F. C. (2021). Aspectos técnicos, sociais e ambientais do sistema de fornecimento de água e saneamento básico do Estado do Rio de Janeiro Technical social and environmental aspects of the water supply and sanitation system in the State of Rio de Janeiro. *Brazilian Journal of Development*, 7(12), 121362-121379.
- Silva, M. B. M., Lima, D. F., & Ribeiro, M. M. R. (2021). Governança de água e planejamento urbano: aproveitamento de água de chuva para construção de cidades mais resilientes. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 18, e18.

- Stewart, R. A., Giurco, D., Panuwatwanich, K., Capati, B., & Willis, R. (2009). Gold Coast domestic water end use study. *Water: Journal of the Australian Water Association*, 36(6), 84-90.
- Sun, A. Y., & Scanlon, B. R. (2019). How can Big Data and machine learning benefit environment and water management: a survey of methods, applications, and future directions. *Environmental Research Letters*, 14(7), 073001.
- Tomaz, P. (2011). *Previsão de consumo de água: interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos* (4. ed.). São Paulo: Navegar.
- Willis, R. M., Stewart, R. A., Giurco, D. P., Talebpour, M. R., & Mousavinejad, A. (2013). End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices. *Journal of Cleaner Production*, 60, 107-115.

**Contribuições dos autores:**

Vinicius Otto de Aguiar Ritzmann Marzall: escrita do artigo, desenvolvimento de figuras e desenvolvimento da pesquisa.

Nilo de Oliveira Nascimento: escrita e revisão do artigo e desenvolvimento da pesquisa.