ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Aquecimento solar de água em edificações residenciais brasileiras

Solar water heating in Brazilian residential buildings

Igor Catão Martins Vaz
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis| Brasil | igorcmvaz@gmail.com
Vanessa Costa Santos
Universidade Estadual de Londrina | Londrina | Brasil | vanessacosta@uel.br
Thalita Gorban Ferreira Giglio
Universidade Estadual de Londrina | Londrina | Brasil | thalita@uel.br
Enedir Ghisi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | enedir.ghisi@ufsc.br

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo comparar os consumos de eletricidade para aquecimento de água obtidos por meio da aplicação dos métodos simplificado e detalhado da Instrução Normativa do INMETRO para edificações residenciais (INI-R) e o método de simulação computacional com o programa Energy Plus. Foi utilizada uma unidade habitacional como objeto de pesquisa, avaliada em doze diferentes cidades com diferentes zonas bioclimáticas. Como principais resultados são apresentados os consumos de energia elétrica para aquecimento de água, as diferenças entre as metodologias e o potencial de redução de consumo de energia com uso de aquecimento solar. Foi possível aproximadamente zerar o consumo de energia para aquecimento de água em sistemas com energia solar. Conclui-se que é necessário incentivar o aquecimento solar de água no Brasil. Também se reitera que o INMETRO deve avaliar o impacto da adoção da metodologia simplificada, pois gera resultados mais favoráveis à certificação que a detalhada.

Palavras-chave: Aquecimento solar de água. Simulação. Edificações residenciais.

Abstract

The aim of this work is to compare the electricity consumption for water heating obtained by applying the simplified and detailed methods of the INMETRO Standard Instruction for residential buildings (INI-R) and the computer simulation method using the Energy Plus programme. A housing unit was used as the research object, and it was evaluated in twelve different cities with different bioclimatic zones. The main results are electricity consumption for water heating, the differences between the methodologies and the potential for reducing energy consumption using solar heating. It was possible to approximately zero out energy consumption for water heating in solar energy systems. The conclusion is that it is necessary to encourage solar water heating in Brazil. It is also reiterated that INMETRO should assess the impact of adopting the simplified methodology, as it generates more favourable results for certification than the detailed one.

Keywords: *Solar water heating. Simulation. Residential buildings*.

Como citar:
VAZ, I.C.M.; SANTOS, V.C.; GIGLIO, T.G.F.; GHISI, E. Aquecimento solar de água em edificações residenciais brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

Dentro do contexto de edificações residenciais, o consumo de eletricidade é de 22,5% do consumo energético nacional [1]. Interessa-se, portanto, diminuir o consumo desta tipologia por meio de sistemas de maior eficiência energética ou por projetos que acompanhem as diretrizes bioclimáticas brasileiras. Neste contexto, o trabalho de Teixeira et al. [2] é importante para a análise de focos para a avaliação de eficiência energética. Os autores utilizaram os dados de Eletrobrás [3] sobre o estoque de edificações residenciais brasileiras para compreender a parcela de consumo de energia de diversos subsistemas da edificação. Os três subsistemas com maior impacto energético são refrigeradores, aquecimento de água e televisores.

O aquecimento de água no Brasil é objeto constante de pesquisa e de interesse do governo federal, com programas [4,5] que tentam diminuir o consumo de energia. Dentre as possíveis tecnologias, a troca de chuveiros elétricos por aquecimento solar é amplamente comprovada como possibilidade de diminuição do consumo de energia. Em 2023, foi apresentado no Senado o PRONASOL, programa nacional de incentivos para aquecedores solares em residências [5]. O projeto ainda tramita no senado federal, porém, mostra o interesse e o embasamento para incentivo desta tecnologia.

Entre as regulamentações existentes, a Instrução Normativa do INMETRO para edificações residenciais (INI-R) é a mais atual iniciativa de etiquetagem e predição do consumo de energia de edificações com objetivo de diminuir o consumo do estoque existente [6]. Em relação ao aquecimento de água, a metodologia apresenta equações que estimam a redução de consumo de energia elétrica por meio da adoção dos sistemas alternativos (aquecimento solar, a gás ou outras possibilidades) em relação ao sistema de referência (aquecimento elétrico). Outra possibilidade é o uso de simulação computacional para compreensão das trocas de balanço térmico e necessidades energéticas complementares, de modo a obter a eficiência energética com o uso de energia solar [7–9].

Esta pesquisa objetiva comparar o consumo de energia de sistemas de aquecimento de água, avaliando-os por meio da INI-R e de simulação computacional. A aplicação de ambas as metodologias para cidades em todas as zonas bioclimáticas brasileiras busca estender o conhecimento sobre o potencial de aplicação de aquecimento solar e a redução de consumo de energia. Como contribuição principal, o estudo apresenta a quantidade de eletricidade para aquecimento de água avaliada por meio dos métodos disponíveis no Brasil. Essa informação pode auxiliar projetistas na compreensão da escala de impacto deste subsistema, bem como auxiliar em revisões da INI-R. Estudos desse tema no país são escassos, e, dessa forma, almeja-se amplificar o estado da arte por meio da aplicação de um comparativo teórico.

MÉTODO

Em primeiro lugar faz-se necessário contextualizar as cidades escolhidas e o objeto de estudo. Este trabalho é continuação do estudo de Vaz et al. [10], com o intuito de validar o método de avaliação de consumo de energia para aquecimento de água da Instrução Normativa do INMETRO para Edificações Residenciais (INI-R).

OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo selecionado é uma unidade habitacional de interesse social, com a quantidade de energia para aquecimento de água sendo a função equivalente. Os modelos de edificações do projeto HabLabEEE [11] foram usados como referência para a definição da unidade habitacional. Como dado necessário para o cálculo do consumo de energia para aquecimento de água, consta o número de habitantes e a quantidade de água quente a ser consumida. Foi definida a quantidade de 4 habitantes por domicílio com consumo de água quente de 40 litros/hab/dia, conforme definição de Santos e Giglio [8]. Essa quantidade de água quente não é a efetivamente aquecida, por ser necessário realizar a correção de volume por meio do balanço térmico entre água quente e fria a ser misturada no banho.

O objeto de estudo foi avaliado para doze cidades brasileiras, conforme Tabela 1, com representatividade para todas as zonas bioclimáticas da NBR 15220-3 [12]. As cidades escolhidas também visam contemplar as cinco regiões brasileiras e as cidades com maior população no país. Dessa forma, foram incluídas uma cidade do norte, três do nordeste, três do centro-oeste, duas do sudeste e três do sul.

Tabela 1 – Cidades avaliadas neste estudo

Cidade	Zona bioclimática [A]	Temperatura média anual de bulbo seco (°C) [B]	Temperatura média mensal mínima de bulbo seco (°C) [B]	Temperatura de uso da água quente (°C) [C]
Curitiba	1M	17,4	14,6	40
Canela	1R	15,7	09,6	40
São Paulo	2M	19,6	16,8	40
Porto Alegre	2R	20,0	15,6	40
Vitória da Conquista	3A	20,6	18,1	38
Brasília	3B	21,1	19,5	40
Rio de Janeiro	4A	23,2	19,5	40
Goiânia	4B	23,2	20,5	40
Recife	5A	25,8	23,9	38
Cuiabá	5B	26,3	22,8	40
Fortaleza	6A	26,7	25,8	38
Palmas	6B	26,8	25,4	38

Fonte: [A] NBR 15220-3 [12] / [B] Disponível em PBE Edifica [6] / [C] Anexo II da Portaria nº 309/2022 [6].

A comparação foi realizada entre chuveiro elétrico, método de aquecimento mais comum no país [2], com o aquecimento solar com reservatório térmico. Para este último, três métodos de cálculo foram avaliados: simulação computacional por meio de programa de balanço termo-energético (EnergyPlus); cálculo detalhado da INI-R; e cálculo simplificado da INI-R. Para o chuveiro elétrico, foram utilizados métodos obtidos na literatura variados por meio de algoritmos em *Python*.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

A simulação computacional foi realizada por meio do programa computacional Energy Plus [13], com base nos arquivos de Santos e Giglio [8] adaptados para a consideração das doze cidades e variações da latitude e inclinação do coletor térmico. Foi utilizada a referência paramétrica da INI-R, no qual o coletor solar possui inclinação igual à latitude do local avaliado. Demais parâmetros são apresentados na Tabela 2.

Optou-se por utilizar os parâmetros que correspondem às situações mais convencionais, como o uso do reservatório térmico externo à edificação. O projeto foi executado por meio da versão 8.8 do programa EnergyPlus e baseia-se no modelo validado de Santos e Giglio [8].

Tabela 2 – Parâmetros da simulação por meio do Energy Plus

Variável	Valor / Descrição	Variável	Valor / Descrição
Cidade de simulação	12 cidades / Tabela 1	Inclinação do coletor	Igual à latitude
Arquivo climático	TMYx 2007-2021	Área de captação	1,98 m²
Localização do reservatório térmico	Fora do ático	Isolamento do circuito primário	Sem perdas por distribuição
Volume do reservatório térmico	200 litros	Backup do sistema de aquecimento	*Backup* aquecedor instantâneo
Consumo diário de água quente	160 litros	Vazão e tempo de banho	4 L/min por 40 minutos
Orientação do coletor	Norte	Horário do banho	18:00 às 18:40

Fonte: Adaptado de Santos [14]

MÉTODO DETALHADO DA INI-R – AQUECIMENTO SOLAR

O método detalhado da INI-R segue as equações descritas na Portaria nº309 de 2022 do INMETRO [6], com as correções descritas na nota técnica 01 [15]. Os parâmetros utilizados no método detalhado são similares aos do método de simulação, com exceção do arquivo climático e horário de banho, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Parâmetros de simulação diferentes pelo método detalhado da INI-R

Variável	Valor / Descrição	Variável	Valor / Descrição
Arquivo climático	PBE Edifica[1]	Horário do banho	Não especificado

[1] Dados conforme portaria da INI-R [6]. Os demais parâmetros são iguais à Tabela 2.

A principal diferença do modelo simulado para o método de cálculo da INI-R consta na maior granularidade temporal do balanço térmico, com a troca térmica horária entre os diferentes pontos de água. Deste modo, há maior especificidade sobre perdas térmicas, bem como na estimativa do horário de banho, compreendendo as necessidades de *backup* elétrico.

Outro ponto importante é a diferença nos dados climáticos referentes à radiação solar. Enquanto a simulação pelo Energy Plus utiliza dados em formato EPW, os quais foram obtidos em modelo *TMYx 2007-2021*, a simulação pela INI-R foi feita com base nos dados do Atlas Solar Brasileiro [16]. Foi realizada esta diferenciação de modo a concordar com os dados de mais fácil acesso para cada um dos métodos de cálculo utilizados.

MÉTODO SIMPLIFICADO DA INI-R – AQUECIMENTO SOLAR

O método simplificado da INI-R foi adicionado por meio da nota técnica 01 [15], na qual se objetiva facilitar o método de avaliação. Reitera-se que o objetivo de ambos os métodos da INI-R não é necessariamente obter o consumo elétrico exato, mas estimar a redução por meio da adoção de aquecimento solar. As Equações 1 e 2 [6], incluídas no método simplificado, são utilizadas para estimar a energia solar disponível por meio do aquecimento solar. Com o valor de *'Eaa,sol'*, procede-se com o cálculo de forma similar ao método detalhado.

$$E_{AA,sol} = P_{ES,dia} \times (\frac{H_{ano}}{5{,}35}) \qquad \text{Equação 1}$$

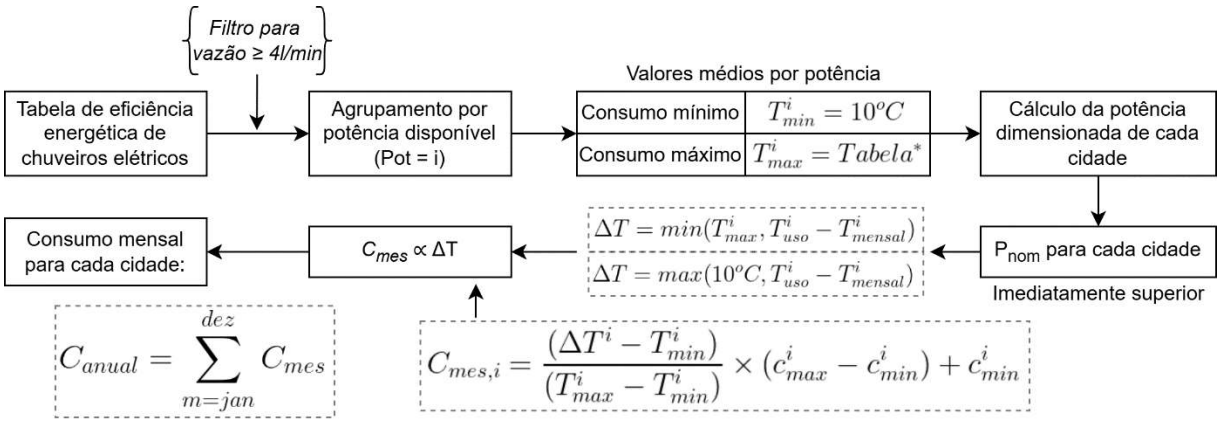
$$P_{ES,dia} = \frac{(P_{ME,mês} \times N_C \times S_C)}{30{,}42} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde: $E_{AA,sol}$ é a energia disponível pelo aquecimento solar de água (kWh/dia); $P_{ES,dia}$ é a produção específica diária média de energia do sistema (kWh/dia); H_{ano} é a irradiação solar no plano inclinado (kWh/(m².dia)); $P_{ME,mês}$ é a produção média mensal de energia do coletor por área (kWh/(mês.m²)); S_C é a área do coletor (m²); N_C é o número de coletores (unidades).

CHUVEIRO ELÉTRICO

O aquecimento por chuveiros elétricos foi dimensionado por meio de um algoritmo em Python que avalia o consumo para cada mês. O método é simplificado, e considera que o chuveiro, quando ligado, possui consumo entre os valores mínimo e máximo estabelecidos na tabela de eficiência energética do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) [17]. A Figura 1 mostra o fluxograma de cálculo do consumo energético.

Figura 1 – Parâmetros de simulação do chuveiro elétrico



Onde: P_{nom} é a potência nominal escolhida para a cidade, imediatamente superior à potência calculada. As temperaturas mínimas e máximas baseiam-se nos valores da tabela de eficiência energética de chuveiros elétricos do IPT [17], com valores médios para cada potência nominal de mercado; ΔT é o aumento de temperatura gerado pelo chuveiro elétrico para atingir a temperatura de uso; $C_{mes,i}$ é o consumo mensal de cada cidade; c^i_{max} é o consumo máximo para a temperatura máxima de elevação de acordo com a tabela de eficiência energética do IPT (kWh/banho.diário); $c^i_{mín}$ é o consumo mínimo (kWh/banho.diário). Para ambos os casos, foram ajustados o tempo e a vazão de banho para os valores indicados nas Tabelas 2 e 3.

A temperatura de uso foi variada entre 30, 35 e 38°C, de modo a compreender o impacto desta definição no consumo em chuveiros elétricos. A potência do chuveiro elétrico baseia-se no trabalho de Sangoi e Ghisi [18], determinada por meio da Equação 3 [18] e adaptada para cada temperatura mínima mensal local. A potência nominal foi determinada conforme existência de chuveiro elétrico no mercado com a menor potência imediatamente superior ao valor calculado. Por fim, a Equação 4 [18] mostra o consumo caso o chuveiro elétrico esteja ligado em potência nominal durante todo o período do banho.

$$P_n \geq \frac{q \times c \times (T_{con} - T_{mín})}{860 \times n} \quad \text{Equação 3}$$

$$C_{CE} = P_n \times h \times H_{ano} \quad \text{Equação 4}$$

Onde: P_n é a potência nominal do chuveiro (kW); q é a vazão do chuveiro (l/h); c é o calor específico da água (1,00 cal/g°C); T_{con} é a temperatura de consumo da água, conforme a INI-R (°C); $T_{mín}$ é a temperatura mínima média mensal (°C); h é o número de horas diário de funcionamento do chuveiro elétrico; H_{ano} é o número de dias no ano. A potência nominal foi determinada conforme modelos existentes no mercado.

COMPARATIVO

O comparativo foi realizado de modo a compreender a metodologia da INI-R e a conformação com o balanço térmico realizado. Reitera-se que o objetivo da INI-R não é de obter exatamente o consumo de energia, mas uma estimativa de redução por meio de um método com menor número de variáveis que a simulação. De toda forma, interessa-se compreender a diferença para o modelo simulado, bem como entre o método detalhado e o simplificado. Para os valores de aquecimento solar, foi utilizada a correlação de Kendall entre os consumos de energia obtidos e as variáveis climáticas. A correlação de Kendall foi escolhida devido ao baixo número de casos (cidades) avaliadas no estudo. Foram incluídas na análise de correlação as variáveis de Temperatura de Bulbo Seco Média Anual (TBSMA), Radiação Solar Diária Média Anual (RSDMA) e Amplitude Térmica Média Anual (ATMA). O objetivo foi de compreender se as três variáveis climáticas são correlacionadas com as estimativas de consumo energético pelos três métodos de avaliação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

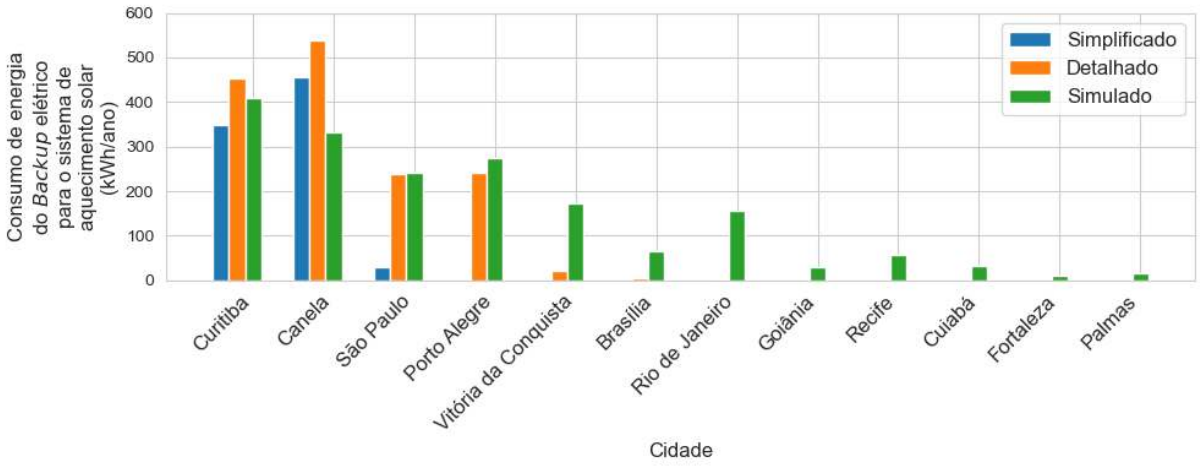
Os consumos de energia para os diferentes sistemas são mostrados nas subseções seguintes. De acordo com a Pesquisa de Posse e Hábito [3], em 40,90% dos domicílios do país, o aquecimento de água ocorre por meio de energia elétrica; em 0,96% por energia solar e 56,99% das residências não possuem aquecimento de água.

AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA

A Figura 2 mostra os resultados para as doze cidades e três métodos de dimensionamento. Percebe-se em todos os cenários haver uma tendência de crescimento de consumo de energia com o aumento da latitude para o sul. Também se percebe que,

por meio de ambos os métodos da INI-R (simplificado ou detalhado), oito cidades apresentam consumo nulo ou quase nulo, indicando que a energia solar é suficiente para suprir toda a demanda de água quente.

Figura 2 – Consumo de energia para *backup* do aquecimento solar de água

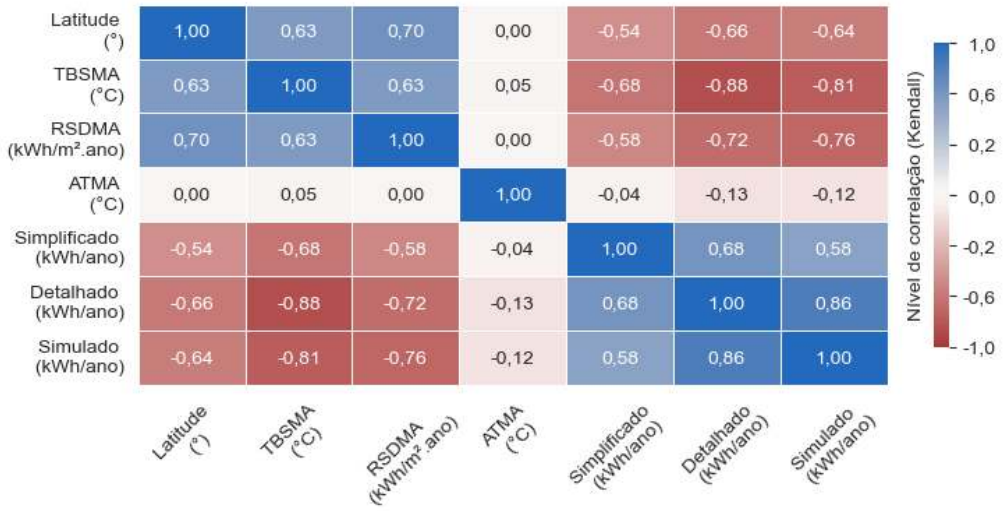


Esta relação de suficiência de aquecimento solar é também vista na simulação, porém com menor valor. Para a simulação, todas as cidades apresentam consumo de energia, mesmo que baixo, relacionado a dias contínuos nublados em que a energia solar obtida é baixa. Nestes casos, requisita-se o uso de *backup* elétrico para suprir a temperatura de uso de 38 e 40°C, conforme a INI-R.

Outro ponto de interesse é a diferença entre os métodos detalhado e simplificado da INI-R, dos quais percebe-se que o uso do simplificado resulta em menores consumos para as cidades avaliadas. Em termos de sugestões à Portaria do INMETRO, percebe-se que a possibilidade de uso de ambos os métodos levará ao uso somente do simplificado, uma vez que é menos trabalhoso e com resultados mais favoráveis à certificação. Porém, em algumas cidades, o consumo de energia do *backup* obtido pelo método de simulação foi alto em contraste com o consumo nulo por meio do simplificado. Ou seja, há variações horárias de fluxo energético para aquecimento, além de questões de operação do sistema, que devem ser contabilizadas na quantificação mas não é possível com o método simplificado.

Por fim, a Figura 3 mostra a matriz de correlação entre as variáveis consideradas. O método simplificado não considera a temperatura local para estimativa da energia solar obtida, sendo utilizada somente para o cálculo da energia necessária de aquecimento. Desse modo, o método simplificado apresentou uma menor correlação com a TBSMA (-0,68), ao contrário dos métodos detalhado (-0,88) e simulado (-0,81).

Figura 3 – Correlação de Kendall entre as diferentes variáveis avaliadas



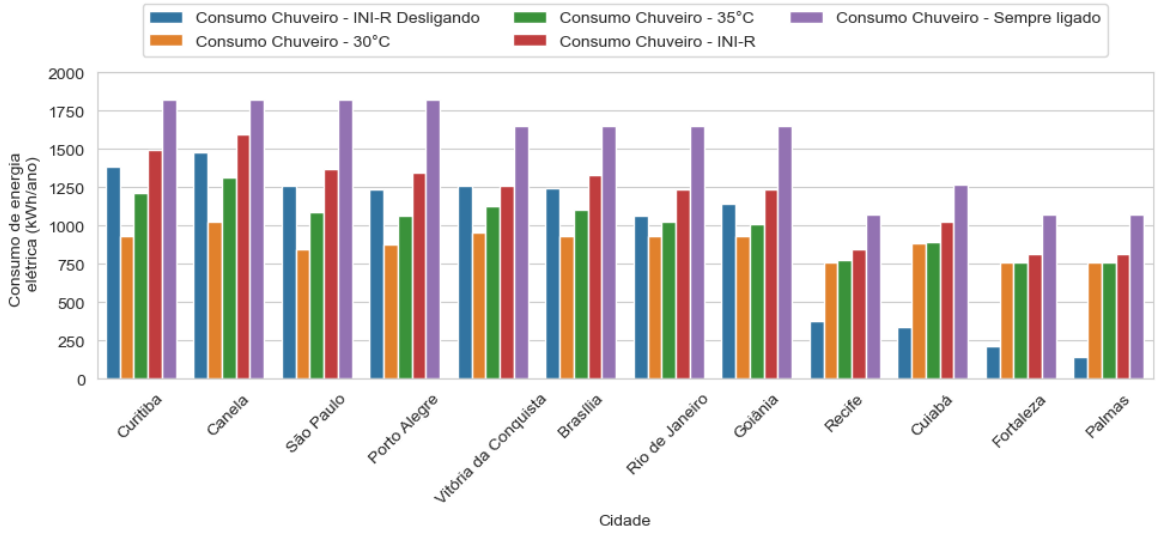
Onde: TBSMA é a Temperatura de Bulbo Seco Média Anual (°C); RSDMA é a Radiação Solar Diária Média Anual (kWh/m².ano); ATMA é a Amplitude Térmica Média Anual (°C).

Percebe-se que as variáveis climáticas (TBSMA, RSDMA e ATMA) possuem maior correlação com o consumo de energia obtido pelos métodos de simulação e INI-R detalhado. Por exemplo, o ganho de energia solar tem relação com a TBSMA e a RSDMA, por meio da troca térmica da água nos coletores e da temperatura ambiente. Desse modo, compreende-se que métodos que apresentem essa troca térmica com mais detalhamento sejam mais exatos. O método simplificado não inclui a TBSMA, gerando resultados menos correlacionados. A amplitude térmica, ao contrário, não apresentou alta correlação com o consumo de energia. Porém, ressalta-se a hipótese que há poucos cenários modelados no estudo.

CHUVEIROS ELÉTRICOS

A Figura 4 mostra o resultado da simulação em Python dos diferentes consumos de energia para chuveiro elétrico no país. Percebe-se que a definição da temperatura de uso, bem como de uso sem aquecimento, impactam o resultado de consumo de energia elétrica. Por exemplo, o uso do chuveiro em potência máxima durante todo o ano gera consumos entre 1070 e 1825 kWh/ano. O uso de chuveiros com potência regulável e temperatura de banho de 30°C consome entre 764 e 1030 kWh/ano. E o uso de chuveiros elétricos com desligamento em meses nos quais a temperatura externa é superior a 26°C resulta em consumos entre 143 e 374 kWh para as cidades de Fortaleza, Palmas, Recife e Cuiabá.

Figura 4 – Consumo anual de energia de chuveiros elétricos

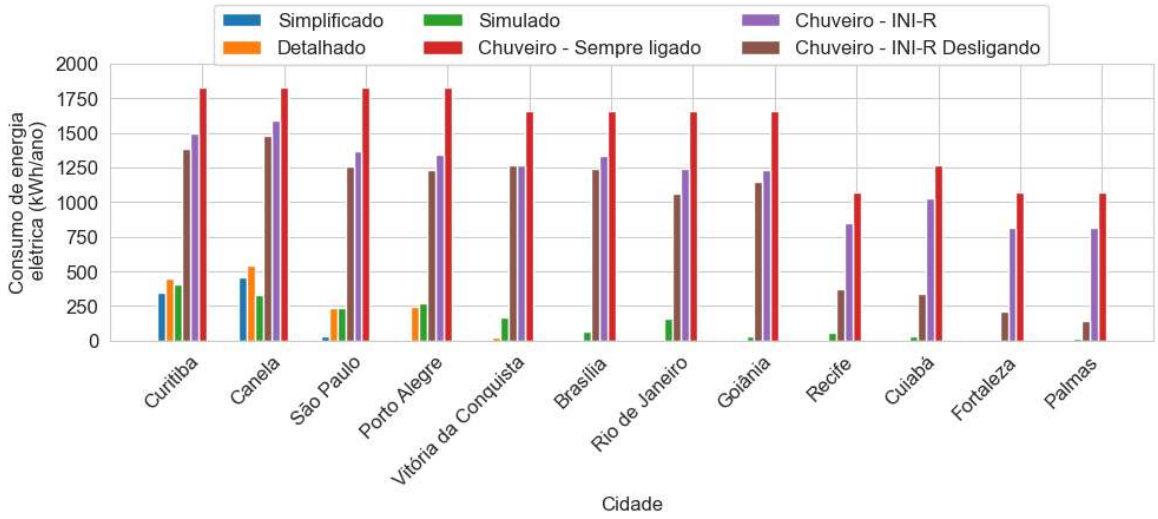


É necessário compreender os padrões de uso para a correta comparação entre sistemas de aquecimento de água. A simples comparação entre sistemas com e sem aquecimento solar sem compreender os detalhes do usuário pode superestimar o consumo de chuveiro elétrico e subestimar o consumo de sistemas de aquecimento solar. De toda forma, percebe-se que o sistema de aquecimento solar pode ser otimizado de modo a diminuir, e até zerar, o consumo de energia. Desse modo, é compreensível que a etiqueta do programa PBE-Edifica valorize esta tecnologia perante o chuveiro elétrico.

COMPARATIVO

Por fim, a Figura 5 mostra o comparativo de consumo de energia entre chuveiros elétricos e aquecimento solar. O consumo é correlacionado com a temperatura local, conforme apresentado na Figura 3. Desse modo, cidades no norte e nordeste do país têm menor benefício no uso de energia solar para aquecimento de água do que cidades do sul, por exemplo.

Figura 5 – Consumo anual de energia entre os diferentes sistemas avaliados



Esta análise corrobora os resultados de Vaz et al. [10] que indicaram o sistema de aquecimento solar de água como o de maior eficiência energética. De toda forma, reitera-se o interesse por incorporar nas análises de aquecimento de água o conforto do usuário, compreendendo melhor a dinâmica entre temperatura e vazão do banho. Espera-se obter resultados mais específicos às diferentes regiões que auxiliem na compreensão do impacto energético deste sistema no país.

CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo comparar sistemas de aquecimento de água e os métodos de avaliação do consumo de energia deste sistema. O uso de simulação termoenergética, bem como de detalhamentos acerca do consumo de chuveiro elétrico, é de extrema importância para compreensão do impacto deste sistema em edificações e no consumo de energia nacional. Como principal resultado, observam-se as diferenças entre os métodos de avaliação energética de aquecimento de água. A escolha do método de avaliação impacta na escala de redução do consumo por meio de aquecimento solar e de otimização energética deste sistema, contribuindo para uma super ou subquantificação do consumo de energia que pode influenciar equivocadamente a tomada de decisões quanto ao uso do aquecimento solar. Como exemplo, a possibilidade de uso de ambos os métodos da instrução normativa levará eventualmente ao uso somente do método simplificado, que é menos trabalhoso e com resultados mais favoráveis. Também se destaca a importância de analisar o impacto em cada cidade, ao encontrar diferenças expressivas de consumo de energia entre cidades do sul e norte/nordeste do país.

REFERÊNCIAS

[1] EPE. Balanço Energético Nacional (2022); Empresa de Pesquisa Energética, 2023; p. 275;.

[2] Teixeira, C.A.; Melo, A.P.; Fossati, M.; Lamberts, R. Bottom-up Modelling of Electricity End-Use Consumption of the Residential Sector in Brazil. Ambiente construído 2022, 22, 113–131, doi:10.1590/s1678-86212022000300611.

[3] Eletrobrás. Pesquisa de Posse e Hábito (PPH). Eletrobrás: Brasil, 2019;

[4] MME. PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 2024.

[5] BRASIL. PL 3492/2023 - Senado Federal. Disponível online: https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/158708#tramitacao_10647983 (acesso em 22 de abril de 2024).

[6] INMETRO. Instrução Normativa Do INMETRO Para Edificações Residenciais - Portaria N° 309/2022. Disponível online: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/ANEXO%20II_INI-R_Portaria%20309_2022_COM%20CAPA.pdf (acesso em 22 de abril de 2024).

[7] Booysen, M.J.; Engelbrecht, J.A.A.; Ritchie, M.J.; Apperley, M.; Cloete, A.H. How Much Energy Can Optimal Control of Domestic Water Heating Save? Energy for Sustainable Development. 2019, 51, 73–85, doi:10.1016/j.esd.2019.05.004.

[8] Santos, V.; Giglio, T. An Approach to Investigate the Interface between Built Envi-ronment and Thermosyphon Solar Water Heating System. ENERGY AND BUILD-INGS. 2020, 223, doi:10.1016/j.enbuild.2020.110092.

[9] Vieira, A.S.; Beal, C.D.; Stewart, R.A. Residential Water Heaters in Brisbane, Australia: Thinking beyond Technology Selection to Enhance Energy Efficiency and Level of Service. Energy and Buildings. 2014, 82, 222–236, doi:10.1016/j.enbuild.2014.07.007.

[10] Vaz, I.C.M.; Geraldi, M.; Vecchi, R.D.; Melo, A.P.; Lamberts, R.; Ghisi, E. Benchmarking energético dos sistemas de aquecimento de água em habitações de inte-resse social. ENCAC. 2023; pp. 1–10.

[11] Veiga, C. Z. M., Bagio, J., Geraldi, M. S., Triana, M. A., Melo, A. P., Lamberts, R. Relatório técnico: Criação dos Modelos de Referência de HIS. Projeto hab.labeee. 2023. Disponível em: https://hablabeee.ufsc.br/resultados.

[12] ABNT NBR 15220-3: Thermal Performance in Buildings Part 3: Brazilian Bioclimatic Zones and Building Guidelines for Low-Cost Houses; Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2005; p. 30;.

[13] Crawley, D.B.; Lawrie, L.K.; Winkelmann, F.C.; Buhl, W.F.; Huang, Y.J.; Pedersen, C.O.; Strand, R.K.; Liesen, R.J.; Fisher, D.E.; Witte, M.J.; et al. EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program. Energy and Buildings 2001, 33, 319–331, doi:10.1016/S0378-7788(00)00114-6.

[14] Santos, V.C. Desempenho energético de sistemas domésticos de aquecimento solar de água em uso: uma abordagem das interfaces com o usuário e o ambiente construído. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Londrina. 2019.

[15] PBE Edifica. Nota Técnica 01 - INI-R. 2023. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/notastecnicasinis

[16] LABREN. Obter Dados Do Atlas Brasileiro de Energia Solar. Disponível online em: https://www.gov.br/pt-br/servicos/obter-dados-do-atlas-brasileiro-de-energia-solar-atlas-solar (acesso em 22 de abril de 2024).

[17] IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). Certificação de chuveiro elétrico. Laboratório de instalações prediais e saneamento. 2022

[18] Sangoi, J.M.; Ghisi, E. Energy Efficiency of Water Heating Systems in Single-Family Dwellings in Brazil. Water 2019, 11, 1068, doi:10.3390/w11051068.