

PARÂMETROS DO AQUECIMENTO DE ÁGUA EM CHUVEIROS: CONFORTO E ENERGIA

MÁRCIA LORENSI BELINAZO*

HÉLIO JOÃO BELINAZO**

O Rio Grande do Sul possui um clima caracterizado pelas baixas temperaturas, principalmente no inverno, por isso os projetistas de Instalações Hidrosanitárias Prediais têm procurado resolver esse problema com a indicação de vários tipos de aquecedores para a água de utilização em residências através de instalações prediais, mas o que acaba predominando é a utilização dos chuveiros elétricos, principalmente pelo seu baixo custo de aquisição e de instalação. Este artigo desenvolveu uma metodologia para levantar dados referentes aos chuveiros elétricos em utilização, durante o banho dos usuários. Com esses dados, procedeu-se a uma análise estimativa dos parâmetros envolvidos, a fim de identificar a forma de utilização desses aparelhos em Santa Maria, RS. A Norma Brasileira de Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente, NBR 7198/93, entre outras recomendações, cita o conforto e os parâmetros hidráulicos como exigências técnicas a serem cumpridas. Por isso, um estudo desses parâmetros permitiu conhecer a realidade desse sistema de aquecimento em relação ao conforto oferecido e à energia consumida. Constatou-se que, embora os chuveiros convencionais tenham uma potência significativa de aproximadamente 5000 W, ainda não satisfazem as necessidades de conforto dos usuários da região Sul. Considerando-se que um banho com um mínimo de conforto necessita de uma vazão de 0,1 l/s e uma temperatura de aproximadamente 40 °C, isso seria impossível de se conseguir com a água de abastecimento em temperaturas baixas, nos chuveiros convencionais comercializados atualmente. Esta pesquisa mostra, através de tabelas, as potências necessárias para as várias vazões de utilização em função da temperatura da água fria e faz uma estimativa do consumo de energia com chuveiros elétricos na situação atual e situação de conforto preconizada.

* Professora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

**Professor do Curso de Engenharia Ambiental do Centro Universitário Franciscano (UNIFRA).

INTRODUÇÃO

A consciência da necessidade de conservação dos recursos naturais e, por outro lado, a demanda crescente de energia utilizável tem conduzido à investigação, em nível mundial, de novas formas de economia de água e de energia nos sistemas hidráulicos prediais.

Mesmo em países onde a escassez de água não representa grande ameaça, a situação energética induz a uma melhor utilização dos sistemas hidráulicos prediais e, em particular, dos sistemas de água quente, motivados pelo valor significativo do custo do conforto oferecido.

Nos últimos anos, os sistemas prediais têm se desenvolvido significativamente no sentido de atender à satisfação final. Essa satisfação é expressa tanto no adequado desempenho físico do sistema como nos reduzidos dispêndios com insumos, como água fria, energia elétrica, gás e outros.

O aquecimento de água em edificações habitacionais constitui-se num dos pontos críticos entre os sistemas prediais, pois é um dos que apresenta maior consumo de energia. No Brasil, na maior parte das habitações, o aquecimento de água é realizado por aquecedores elétricos instantâneos (chuveiros) instalados nos pontos de utilização. Assim sendo, grande parte das habitações brasileiras não dispõe de sistema de distribuição de água quente, já que o aquecimento da água é realizado no próprio ponto de consumo.

Arouca (apud IOSHIMOTO 1994), em análises da estrutura do consumo de energia elétrica, segundo os usos, coloca que, no Brasil, a conservação de alimentos e o aquecimento de água são as principais utilizações residenciais de energia elétrica, no que diz respeito ao consumo, apresentando índices de 31,7 e 26,2% respectivamente. Entretanto, quando analisamos a demanda (kWh/h) no período de pico (horário de maior utilização), a energia demandada supera as outras utilizações.

Dentro desse panorama, está inserido este trabalho. Objetiva uma abordagem dos principais sistemas de aquecimento de água utilizados em unidades residenciais e, especificamente, propõe uma metodologia para coleta e análise dos dados levantados, com vistas à avaliação do conforto oferecido pelo chuveiro elétrico, por ser este equipamento o mais utilizado para este fim nas unidades pesquisadas.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas prediais

Um edifício pode ser considerado como um sistema composto por diversos subsistemas que se inter-relacionam, em que o melhor desempenho não se reduz a uma boa solução de cada parte isoladamente, mas na conjugação de todas para atender às funções a que o edifício se destina.

Conforme Almeida (1994), não é comum vermos um usuário reclamando do sistema estrutural. Já, quanto aos sistemas prediais, as reclamações são bastante comuns, dada a proximidade destes com o usuário e suas inter-relações.

De acordo, ainda, com Almeida (1994), os sistemas prediais sofrem constantemente a pressão para se adequar à evolução dos equipamentos e processos produtivos internos aos edifícios. Outra vertente importante é aquela que aponta para o aumento da preocupação com o custo dos insumos energéticos e sua crescente escassez. Nesse aspecto, os sistemas prediais desempenham papel fundamental na composição da equação que visa à qualidade do edifício, visto que, em conjunto com a arquitetura que impõe variáveis de conforto e utilização, os sistemas prediais são, em primeira instância, os consumidores desses insumos energéticos.

2.2 Sistemas hidrosanitários prediais

Conforme Amorim (1989), sistema hidrosanitário predial é o conjunto de componentes e ambientes sanitários que tem a finalidade de conduzir água potável para o consumo humano, permitir sua utilização de forma conveniente, recolhê-la após o uso e encaminhá-la ao sistema público de coleta ou disposição em local adequado.

2.2.1 Sistemas hidrosanitários prediais de água quente

Segundo Gnipper (1986), uma instalação predial de água quente, residencial, é constituída por um equipamento aquecedor, cuja função é elevar a temperatura da água até um nível desejável para o consumo, uma linha de alimentação energética, uma linha de abastecimento de água fria e um sistema de distribuição de água aquecida aos pontos de utilização no interior da edificação.

De acordo com Belinazo (1993), as instalações prediais de água quente têm como objetivo principal o conforto aos usuários e serviços, auxiliando na higiene de pessoas e utensílios, principalmente nos dias frios, em ambientes residenciais ou similares.

A água quente nos serviços domésticos reage bem com sabões e facilita a limpeza e esterilização de utensílios de cozinha ou lavanderia, penetra nas fibras dos tecidos, remove sujeiras e oferece conforto aos executores dos serviços.

Ainda, segundo Belinazo (1993), para a higiene das pessoas, a água quente cumpre seu principal objetivo que é o de proporcionar grande conforto pelo calor sensitivo que proporciona nos dias frios.

O uso de instalações de água quente se justifica em edificações de padrão médio para cima, nas quais o custo dessas instalações e dos equipamentos fica diluído no orçamento final (BELINAZO, 1993).

Os estudos sobre o fornecimento adequado de água quente, os equipamentos e a energia a serem utilizados têm sido cada vez mais intensos em função do conforto ser uma exigência dos usuários, atualmente.

A melhor escolha do equipamento e da energia utilizada nem sempre acontece devido à falta de informações, principalmente sobre o consumo de energia e conforto oferecido. Dessa forma, torna-se fundamental o conhecimento do equipamento a ser utilizado no aquecimento da água em função do: a) tipo e finalidade da edificação; b) tipo de projeto concebido; c) conforto desejado; d) consumo provável de água quente; e) custo da energia consumida.

Aos projetistas, cabe escolher as alternativas para cada caso, pois a eficiência, a economia e a segurança somente serão alcançadas com o conhecimento das particularidades citadas e do projeto como um todo.

2.2.2 Energia usada nos aquecedores

Os tipos de energia mais utilizados no aquecimento de água para fins domésticos em residências são: energia elétrica, combustíveis (sólidos, líquidos, gasosos), energia solar.

2.2.3 Classificação dos sistemas de aquecimento

Segundo Belinazo (1993) e Ilha et al. (1994), os sistemas prediais de água quente podem ser classificados em individual, central privado e central coletivo.

O sistema individual consiste na alimentação de um único ponto de utilização, sem a necessidade de uma rede de água quente. Exemplo:

chuveiro elétrico, torneira elétrica. As fontes energéticas utilizadas nesse tipo de sistema são essencialmente o gás combustível e a eletricidade.

O sistema central privado consiste, basicamente, de um equipamento responsável pelo aquecimento da água e uma rede de tubulações que distribuem a água aquecida a pontos de utilização que pertencem a uma mesma dependência ou a uma residência completa. Exemplo: aquecedor de passagem (instantâneo) e aquecedor de acumulação (lento). As fontes energéticas utilizadas nesse tipo de sistema de aquecimento são basicamente o gás combustível, eletricidade, óleo combustível, lenha e energia solar.

O sistema central coletivo, por sua vez, é constituído por um equipamento gerador e acumulador de água quente e uma rede de tubulações que conduz água aquecida até pontos de utilização pertencentes a mais de uma unidade, especificamente para atender às necessidades totais de um prédio residencial, hotel, indústria, etc. Uma vez que o gerador de água quente abastece várias unidades, está implícita a reserva do volume a ser aquecido, constituindo o que se denomina usualmente de caldeira. As fontes energéticas podem ser combustíveis sólidos, líquidos e gasosos, além da eletricidade, possibilitando a alternância dessa fonte.

2.2.4 Tipos de aquecedores

Segundo Belinazo (1993), podemos citar aquecedores individuais, aquecedores instantâneos e aquecedores de acumulação como principais tipos de aquecedores. O aquecedor individual (chuveiro elétrico, torneira elétrica) possui fácil instalação, baixo custo aquisitivo, econômico quanto ao consumo de energia e só aquece quando solicitado.

O aquecedor instantâneo (aquecedor de passagem por exemplo) só consome energia, quando utilizado, por isso não proporciona perdas no aparelho e nas instalações fora do período de uso. Podem-se interligar todos os pontos de consumo de água quente desde que a utilização não seja simultânea. É capaz de fornecer água quente até 70 °C, mas funciona, normalmente, com acréscimo de temperatura fixo, em que a temperatura final depende da temperatura inicial e da vazão no aparelho.

O aquecedor de acumulação é composto de um recipiente para armazenar água, um sistema de aquecimento (resistência elétrica ou queimador de gás) e um sistema que controla o funcionamento desse aquecimento. É um equipamento que tem condições de interligar todos os pontos de consumo de uma unidade habitacional e permite utilização de vários pontos de consumo em uso simultâneo. Pode fornecer água quente até 70 °C, independente da temperatura inicial da água fria.

2.3 Aquecimento de água e consumo de energia

Ioshimoto (1990) diz que, no setor residencial, a demanda de energia representava aproximadamente 17,2% da demanda total em 1984.

Ainda, conforme Ioshimoto (1990), a matriz energética para o setor residencial tem como principais fontes de energia a eletricidade, a lenha e o gás liquefeito de petróleo que, em conjunto, representaram 95,7% do consumo de energia do setor em 1987. Apenas a eletricidade corresponde aproximadamente à metade da demanda de energia. Esses dados demonstram a crescente dependência do setor residencial com relação, principalmente, à energia elétrica.

O aquecimento de água constitui uma utilização de energia elétrica em baixa tensão. Do total de consumidores em baixa tensão, 86% pertencem ao setor residencial (DNAEE apud IOSHIMOTO, 1994). No período de 1974-1979, foi estimado que 64% das famílias ligadas à rede elétrica possuíam chuveiro elétrico no Brasil.

Segundo a Eletrobras (apud OLIVA, 1993), durante o primeiro semestre de 1993, o segmento de mercado residencial foi responsável por 26,9% de toda energia elétrica consumida no país. Desse total, cerca de 20% foram destinados ao aquecimento de água doméstico.

O principal equipamento utilizado para esse fim é o chuveiro elétrico, presente em 67,6% das residências do país, atendidas por energia elétrica. Estavam instalados, em 1988, cerca de 17,5 milhões de chuveiros, cuja predominância de uso, conforme diversos autores e pesquisadores, dá-se às 18 horas.

O chuveiro elétrico costuma ser o equipamento de maior potência em uma residência. É amplamente utilizado por ser o dispositivo de aquecimento de água de menor investimento inicial para o consumidor, cerca de US\$ 10 para uma unidade com potência entre 4400 e 5000 W, sem considerar as instalações elétrica e hidráulica, além de ser de fácil instalação e operação. Entretanto, para o setor elétrico e para o país, o suprimento de energia para esse chuveiro, que costuma operar no horário de ponta, segundo Oliva (1993), tem custos muito mais elevados. Esse quadro fica bem mais grave quando se observa a tendência à elevação da potência dos chuveiros no sentido de proporcionar maior conforto para o usuário. Situações como essa tendem ao agravamento da situação energética do país, pois são cada vez maiores as necessidades de recursos para geração e transmissão da energia elétrica.

Em função do atual quadro, há a necessidade de alterar o perfil de consumo energético, ou seja, a matriz energética do setor residencial, na qual a eletricidade tem participação de mais de 50% do total da energia consumida.

METODOLOGIA

3.1 Pesquisa dos chuveiros elétricos

Nesta pesquisa, teve-se como objetivo principal analisar a utilização dos chuveiros elétricos e o conforto que ofereceram aos usuários. Em função disso, foi realizada uma pesquisa na região de Santa Maria, RS, para avaliar os parâmetros que representam as características de funcionamento dos chuveiros nesta região, em função dos costumes dos usuários. Esses parâmetros são vazão oferecida, temperatura de utilização, temperatura da água fria e tempo de duração do banho.

Para a coleta dos referidos parâmetros, foi utilizada uma planilha na qual cada teste foi feito com quatro pessoas, repetindo-se três vezes para a mesma pessoa, num total de doze banhos.

Os dados levantados, que constam na planilha, foram: idade; sexo; data; marca do chuveiro; temperatura ambiente (°C), obtida através de termômetro; temperatura da água fria (°C), obtida através da medição direta da temperatura da água quente do banho; temperatura da água quente (°C), obtida através da medição da temperatura da água quente do banho; tempo do banho (min), cronometrado; vazão do chuveiro (l/s), obtida utilizando-se um recipiente de volume conhecido, graduado em litros e dividindo-se pelo tempo da coleta, em segundos.

A planilha de coleta dos dados era parte integrante dos critérios de avaliação dos alunos da disciplina de Instalações Hidrosanitárias Prediais, ministrada pelo professor Hélio João Belinazo, no curso de Engenharia Civil da UFSM. O professor, a cada semestre, entregava a seus alunos a planilha para que fizessem as medições com pessoas de sua família ou de seu convívio. É importante salientar que dificuldades foram encontradas pelo fato de as medições serem realizadas durante o banho das pessoas e estas precisavam estar de acordo em participar. Os resultados¹, ao longo de quatro anos, foram satisfatórios e encontram-se apresentados na Tabela 1.

Os referidos dados foram agrupados pelas temperaturas da água fria, tendo-se como resultados, para cada grau centígrado, a temperatura média da água quente de utilização, a duração média do banho e a vazão média da água de utilização.

¹ A discussão dos resultados desta e das demais tabelas aqui apresentadas estão no capítulo quatro da referida monografia.

PARÂMETROS DO AQUECIMENTO DE ÁGUA EM
CHUVEIROS: CONFORTO E ENERGIA

A seguir, é apresentada a planilha de pesquisa de coleta de dados dos chuveiros elétricos.

PLANILHA DE PESQUISA DOS CHUVEIROS ELÉTRICOS									
Pessoa	Idade	Sexo	Data	Marca do chuveiro	Temperatura (°C)			Tempo do banho (minutos)	Vazão do chuveiro (l/s)
					Ambiente	Água fria	Água quente		
A									
B									
C									
D									

PESSOA “A”

- a) Edifício () Casa ()
- b) Quantos andares?
- c) Qual o andar analisado?

PESSOA “B”

- a) Edifício () Casa ()
- b) Quantos andares?
- c) Qual o andar analisado?

PESSOA “C”

- a) Edifício () Casa ()
- b) Quantos andares?
- c) Qual o andar analisado?

PESSOA “D”

- a) Edifício () Casa ()
- b) Quantos andares?
- c) Qual o andar analisado?

3.2 Simulação do desempenho dos chuveiros elétricos

A fim de se avaliar o custo real de um banho confortável, foi desenvolvido um programa computacional para simular o funcionamento dos chuveiros elétricos convencionais com resistência constante e temperatura da água quente fixa em 40 °C na saída do chuveiro. Os cálculos foram feitos para temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30 °C para água fria, tendo como base os resultados da Tabela 2 e a utilização de um equacionamento proposto, desenvolvido na seqüência deste trabalho.

Equacionamento proposto

$$EC = P \times t$$

Em que:

EC = energia consumida (kWh);

P = potência aquecedor (kW);

t = tempo de duração banho (h)

$$CD = EC \times PD$$

Em que:

CD = custo energia (dólar);

EC = energia consumida (kWh);

PD = preço kWh em dólar

O preço do kWh da energia elétrica, em dólar, foi obtido diretamente da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE, 1997), e corresponde a US\$ 0,152 a hora, incluído neste valor os 25% do imposto (ICMS) do Rio Grande do Sul.

As Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 apresentam os resultados dos custos da energia consumida em função do conforto, através da simulação do funcionamento do chuveiro elétrico para as seguintes situações de água fria: $T_{AF} = 10, 15, 20, 25$ e 30 °C, por terem sido essas as temperaturas levantadas na pesquisa.

A temperatura da água de utilização (T_{AM}), considerada nesta simulação, foi $T_{AM} = 40$ °C, devido à necessidade de uma temperatura superior à do corpo humano.

As tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 são apresentadas e discutidas no capítulo 4.

RESULTADOS E CONCLUSÕES

4.1 Análise dos resultados da pesquisa dos chuveiros elétricos

Na Tabela 1, apresentada na seqüência, podemos observar que a temperatura da água fria durante o período de coleta dos dados variou de 5 a 30 °C, sendo que a maior incidência de banhos se deu na temperatura da água fria correspondente a 15 °C, com 195 banhos. Essa temperatura é considerada alta em relação às baixas temperaturas que caracterizam a região sul no período do inverno.

A média das temperaturas da água quente foi de 36,80 °C e os limites da água quente encontrados variaram entre 35,35 °C e 38,80 °C para as temperaturas de água fria de 25 °C e 7 °C respectivamente, sendo que, para uma temperatura da água fria de 10 °C, foi obtida a temperatura média máxima de 35,78 °C, considerada baixa para o padrão de banho confortável, que é de 40 °C, em função das condições de contorno que são a distância (altura) entre a saída d'água no chuveiro e o usuário, e a temperatura ambiente.

A média de tempo dos banhos foi de 9,02 minutos e os limites variaram entre 5,10 min e 13,19 min. O tempo de um banho é um dos fatores que leva a um maior consumo de energia elétrica. Também demonstra os hábitos das pessoas que, por não terem uma vazão satisfatória, demoram mais tempo em seus banhos, principalmente no inverno, quando buscam o aquecimento do corpo nesse momento, ou seja, o conforto.

A média das vazões do chuveiro foi de 0,55 l/s e os valores-limite situaram-se entre 0,042 l/s e 0,085 l/s, sendo que essa última vazão foi obtida para uma temperatura de água fria de 26 °C, ou seja, quando se pode abrir livremente o registro do chuveiro. No período de temperaturas baixas, as vazões correspondentes também foram insuficientes, segundo o parâmetro que indica a vazão de um banho confortável, citado pela NBR 5626/96.

Por seus resultados, constatou-se que os chuveiros elétricos oferecem pouco conforto, uma vez que, para se obter um conforto aceitável, segundo testes feitos em pesquisas anteriores, seria necessária uma vazão de 0,1 l/s ou 6 l/min e, para um conforto satisfatório, uma vazão de no mínimo 0,15 l/s ou 9 l/min, o que não se consegue obter em nenhum caso, nem mesmo quando a temperatura foi mais elevada. Isso prova que existem vários problemas que podem estar prejudicando o bom funcionamento dos chuveiros, tais como: falta de pressão da água; grande perda de carga no aparelho, dificultando a obtenção da vazão necessária; além de uma

potência incompatível com o aquecimento necessário em função da vazão de conforto e temperatura da água fria (ver Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros referentes ao banho, utilizando chuveiros elétricos

Temperatura da água fria (°C)	Número de banhos (n°)	Temperatura média do banho (°C)	Tempo médio do banho (minutos)	Vazão do chuveiro (l/s)
5	2	36,5	8,50	0,046
6	10	38,45	12,22	0,042
7	7	38,75	12,07	0,046
8	23	36,10	9,86	0,042
9	20	38,05	9,70	0,043
10	63	35,78	10,62	0,044
11	43	37,37	9,48	0,047
12	93	37,09	9,51	0,047
13	99	36,45	9,27	0,056
14	125	38,72	11,07	0,048
15	195	37,29	10,17	0,045
16	83	35,44	9,71	0,046
17	145	37,89	10,21	0,047
18	135	36,74	10,46	0,044
19	112	36,47	13,19	0,044
20	103	37,05	9,33	0,047
21	42	37,27	8,77	0,048
22	44	36,33	7,28	0,054
23	29	36,16	7,64	0,057
24	38	35,71	5,60	0,071
25	64	35,35	6,57	0,069
26	44	36,10	11,48	0,085
27	33	36,64	5,10	0,081
28	25	37,30	5,72	0,086
29	25	35,64	5,19	0,076
30	24	36,25	5,88	0,058
	$\Sigma = 1626$			
		$\bar{x} = 36,80$	$\bar{x} = 9,02$	$\bar{x} = 0,055$
		$\sigma = 0,967$	$\sigma = 2,285$	$\sigma = 0,014$

Sendo: \bar{x} = média; σ = desvio padrão

4.2 Análise dos resultados da simulação do desempenho dos chuveiros

Analisando os resultados do conjunto de tabelas (variando em função da temperatura da água fria), percebemos que:

a) Para a temperatura da água fria de 10 °C, Tabela 2, para atingir a vazão de conforto aceitável de 0,1 l/s ou 6 l/min, seria necessário um chuveiro com potência de 12,5 kW que consumiria 0,208 kWh/min a um custo de US\$ 0,0317 por minuto, ou US\$ 0,286 para um banho, utilizando-se o tempo médio dos banhos (9,02 minutos), ou ainda tomando como exemplo: 4 pessoas x 30 banhos/mês x US\$ 0,286 = US\$ 34,32 por mês.

b) Para a temperatura da água fria de 15 °C, Tabela 3, para atingir a vazão de conforto aceitável de 0,1 l/s ou 6 l/min, seria necessário um chuveiro com potência de 10,5 kW que consumiria 0,175 kWh/min a um custo de US\$ 0,0266 por minuto, ou US\$ 0,2399 para um banho, utilizando-se o tempo médio dos banhos (9,02 minutos), ou ainda tomando como exemplo: 4 pessoas x 30 banhos/mês x US\$ 0,2399 = US\$ 28,79 por mês.

Pode-se concluir da simulação desse conjunto de tabelas que os chuveiros elétricos existentes, encontrados no comércio, não atendem satisfatoriamente às características de conforto da região sul a qual, num período de inverno normal, sofre o rigor de temperaturas baixas durante um período considerável do ano.

Para uma vazão de conforto citada anteriormente, a potência necessária para atender a essas exigências encontra-se fora dos limites dos equipamentos disponíveis, por isso o resultado da média das vazões da Tabela 1 é muito baixa para satisfazer a temperatura necessária.

Existem diversas alternativas ao chuveiro elétrico para aquecimento de água residencial que podem, inclusive, apresentar menor custo de operação para um dado nível de conforto. O chuveiro, entretanto, tem o menor preço, conforme Denardin (1992). Desse modo, quando se trata de conservação e do uso racional de energia residencial, deve ser buscada a redução do efeito do chuveiro elétrico no horário de pico, uma vez que deverá continuar a ser o equipamento predominante na produção de água quente. A redução do efeito chuveiro elétrico pode partir de diversas categorias da sociedade e, por parte dos pesquisadores e estudiosos, poderia existir maior divulgação de pesquisas sobre a eficiência do pré-aquecimento da água e sua reserva para posterior uso, sendo que, nesse caso, a água estaria sendo aquecida durante um período anterior àquele considerado como pico e não seria, dessa forma, tão elevada a demanda de energia num único horário.

Tabela 2. Custo da energia elétrica para aquecimento d'água em chuveiros elétricos

$T_{AF} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T_{AM} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	
P (kW)	K (kcal/h)	Q_{AM} (l/s)	Consumo (kWh/min)	Custo (US\$/min)
1,0	860,010	0,008	0,017	0,0025
1,5	1290,014	0,012	0,025	0,0038
2,0	2720,019	0,016	0,033	0,0051
2,5	2150,24	0,020	0,042	0,0063
3,0	2580,029	0,024	0,050	0,0076
3,5	3010,033	0,028	0,058	0,0089
4,0	3440,038	0,032	0,067	0,0101
4,5	3870,043	0,036	0,075	0,0114
5,0	4300,048	0,040	0,083	0,0127
5,5	4730,052	0,044	0,092	0,0139
6,0	5160,057	0,048	0,100	0,0152
6,5	5590,062	0,052	0,108	0,0165
7,0	6020,067	0,056	0,117	0,0177
7,5	6450,071	0,060	0,125	0,0190
8,0	6880,076	0,064	0,133	0,0203
8,5	7310,081	0,068	0,142	0,0216
9,0	7740,086	0,072	0,150	0,0228
9,5	8170,091	0,076	0,158	0,0241
10,0	8600,096	0,080	0,167	0,0254
10,5	9030,100	0,084	0,175	0,0266
11,0	9460,104	0,088	0,183	0,0279
11,5	9890,109	0,092	0,192	0,0292
12,0	10320,114	0,096	0,200	0,0304
12,5	10750,119	0,100	0,208	0,0317
13,0	11180,124	0,104	0,217	0,0330
13,5	11610,129	0,108	0,225	0,0342
14,0	12040,134	0,111	0,233	0,0355
14,5	12470,138	0,115	0,242	0,0368
15,0	12900,143	0,119	0,250	0,0380

Sendo:

T_{AF} : temperatura da água fria ($^{\circ}\text{C}$);

T_{AM} : temperatura da água de utilização ($^{\circ}\text{C}$);

P: potência do aquecedor em (kW);

K: potência do aquecedor em (kcal/h);

Q_{AM} : vazão da água de utilização (l/s);

Consumo: consumo de energia elétrica durante a utilização do aquecedor (kWh/min);

Custo: custo da energia elétrica consumida por minuto (dólar/min).

PARÂMETROS DO AQUECIMENTO DE ÁGUA EM
CHUVEIROS: CONFORTO E ENERGIA

Tabela 3. Custo da energia elétrica para aquecimento d'água em chuveiros elétricos

$T_{AF} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T_{AM} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	
P (kW)	K (kcal/h)	Q_{AM} (l/s)	Consumo (kWh/min)	Custo (US\$/min)
1,0	860,010	0,010	0,017	0,0025
1,5	1290,014	0,014	0,025	0,0038
2,0	2720,019	0,019	0,033	0,0051
2,5	2150,24	0,024	0,042	0,0063
3,0	2580,029	0,029	0,050	0,0076
3,5	3010,033	0,033	0,058	0,0089
4,0	3440,038	0,038	0,067	0,0101
4,5	3870,043	0,043	0,075	0,0114
5,0	4300,048	0,048	0,083	0,0127
5,5	4730,052	0,053	0,092	0,0139
6,0	5160,057	0,057	0,100	0,0152
6,5	5590,062	0,062	0,108	0,0165
7,0	6020,067	0,067	0,117	0,0177
7,5	6450,071	0,072	0,125	0,0190
8,0	6880,076	0,076	0,133	0,0203
8,5	7310,081	0,081	0,142	0,0216
9,0	7740,086	0,086	0,150	0,0228
9,5	8170,091	0,091	0,158	0,0241
10,0	8600,096	0,096	0,167	0,0254
10,5	9030,100	0,100	0,175	0,0266
11,0	9460,104	0,105	0,183	0,0279
11,5	9890,109	0,110	0,192	0,0292
12,0	10320,114	0,115	0,200	0,0304
12,5	10750,119	0,119	0,208	0,0317
13,0	11180,124	0,124	0,217	0,0330
13,5	11610,129	0,129	0,225	0,0342
14,0	12040,134	0,134	0,233	0,0355
14,5	12470,138	0,139	0,242	0,0368
15,0	12900,143	0,143	0,250	0,0380

Sendo:

T_{AF} : temperatura da água fria ($^{\circ}\text{C}$);

T_{AM} : temperatura da água de utilização ($^{\circ}\text{C}$);

P: potência do aquecedor em (kW);

K: potência do aquecedor em (kcal/h);

Q_{AM} : vazão da água de utilização (l/s);

Consumo: consumo de energia elétrica durante a utilização do aquecedor (kWh/min);

Custo: custo da energia elétrica consumida por minuto (dólar/min).

Tabela 4. Custo da energia elétrica para aquecimento d'água em chuveiros elétricos

T _{AF} = 20 °C			T _{AM} = 40 °C	
P (kW)	K (kcal/h)	Q _{AM} (l/s)	Consumo (kWh/min)	Custo (US\$/min)
1,0	860,010	0,012	0,017	0,0025
1,5	1290,014	0,018	0,025	0,0038
2,0	2720,019	0,024	0,033	0,0051
2,5	2150,24	0,030	0,042	0,0063
3,0	2580,029	0,036	0,050	0,0076
3,5	3010,033	0,042	0,058	0,0089
4,0	3440,038	0,048	0,067	0,0101
4,5	3870,043	0,054	0,075	0,0114
5,0	4300,048	0,060	0,083	0,0127
5,5	4730,052	0,066	0,092	0,0139
6,0	5160,057	0,072	0,100	0,0152
6,5	5590,062	0,078	0,108	0,0165
7,0	6020,067	0,084	0,117	0,0177
7,5	6450,071	0,090	0,125	0,0190
8,0	6880,076	0,096	0,133	0,0203
8,5	7310,081	0,102	0,142	0,0216
9,0	7740,086	0,108	0,150	0,0228
9,5	8170,091	0,113	0,158	0,0241
10,0	8600,096	0,119	0,167	0,0254
10,5	9030,100	0,125	0,175	0,0266
11,0	9460,104	0,131	0,183	0,0279
11,5	9890,109	0,137	0,192	0,0292
12,0	10320,114	0,143	0,200	0,0304
12,5	10750,119	0,149	0,208	0,0317
13,0	11180,124	0,155	0,217	0,0330
13,5	11610,129	0,161	0,225	0,0342
14,0	12040,134	0,167	0,233	0,0355
14,5	12470,138	0,173	0,242	0,0368
15,0	12900,143	0,179	0,250	0,0380

Sendo:

T_{AF}: temperatura da água fria (°C);

T_{AM}: temperatura da água de utilização (°C);

P: potência do aquecedor em (kW);

K: potência do aquecedor em (kcal/h);

Q_{AM}: vazão da água de utilização (l/s);

Consumo: consumo de energia elétrica durante a utilização do aquecedor (kWh/min);

Custo: custo da energia elétrica consumida por minuto (dólar/min).

PARÂMETROS DO AQUECIMENTO DE ÁGUA EM
CHUVEIROS: CONFORTO E ENERGIA

Tabela 5. Custo da energia elétrica para aquecimento d'água em chuveiros elétricos

$T_{AF} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T_{AM} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	
P (kW)	K (kcal/h)	Q_{AM} (l/s)	Consumo (kWh/min)	Custo (US\$/min)
1,0	860,010	0,016	0,017	0,0025
1,5	1290,014	0,024	0,025	0,0038
2,0	2720,019	0,032	0,033	0,0051
2,5	2150,24	0,040	0,042	0,0063
3,0	2580,029	0,048	0,050	0,0076
3,5	3010,033	0,056	0,058	0,0089
4,0	3440,038	0,064	0,067	0,0101
4,5	3870,043	0,072	0,075	0,0114
5,0	4300,048	0,080	0,083	0,0127
5,5	4730,052	0,088	0,092	0,0139
6,0	5160,057	0,096	0,100	0,0152
6,5	5590,062	0,104	0,108	0,0165
7,0	6020,067	0,111	0,117	0,0177
7,5	6450,071	0,119	0,125	0,0190
8,0	6880,076	0,127	0,133	0,0203
8,5	7310,081	0,135	0,142	0,0216
9,0	7740,086	0,143	0,150	0,0228
9,5	8170,091	0,151	0,158	0,0241
10,0	8600,096	0,159	0,167	0,0254
10,5	9030,100	0,167	0,175	0,0266
11,0	9460,104	0,175	0,183	0,0279
11,5	9890,109	0,183	0,192	0,0292
12,0	10320,114	0,191	0,200	0,0304
12,5	10750,119	0,199	0,208	0,0317
13,0	11180,124	0,207	0,217	0,0330
13,5	11610,129	0,215	0,225	0,0342
14,0	12040,134	0,223	0,233	0,0355
14,5	12470,138	0,231	0,242	0,0368
15,0	12900,143	0,239	0,250	0,0380

Sendo:

T_{AF} : temperatura da água fria ($^{\circ}\text{C}$);

T_{AM} : temperatura da água de utilização ($^{\circ}\text{C}$);

P: potência do aquecedor em (kW);

K: potência do aquecedor em (kcal/h);

Q_{AM} : vazão da água de utilização (l/s);

Consumo: consumo de energia elétrica durante a utilização do aquecedor (kWh/min);

Custo: custo da energia elétrica consumida por minuto (dólar/min).

Tabela 6. Custo da energia elétrica para aquecimento d'água em chuveiros elétricos

$T_{AF} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T_{AM} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	
P (kW)	K (kcal/h)	Q_{AM} (l/s)	Consumo (kWh/min)	Custo (US\$/min)
1,0	860,010	0,024	0,017	0,0025
1,5	1290,014	0,036	0,025	0,0038
2,0	2720,019	0,048	0,033	0,0051
2,5	2150,24	0,060	0,042	0,0063
3,0	2580,029	0,072	0,050	0,0076
3,5	3010,033	0,084	0,058	0,0089
4,0	3440,038	0,096	0,067	0,0101
4,5	3870,043	0,108	0,075	0,0114
5,0	4300,048	0,119	0,083	0,0127
5,5	4730,052	0,131	0,092	0,0139
6,0	5160,057	0,143	0,100	0,0152
6,5	5590,062	0,155	0,108	0,0165
7,0	6020,067	0,167	0,117	0,0177
7,5	6450,071	0,179	0,125	0,0190
8,0	6880,076	0,191	0,133	0,0203
8,5	7310,081	0,203	0,142	0,0216
9,0	7740,086	0,215	0,150	0,0228
9,5	8170,091	0,227	0,158	0,0241
10,0	8600,096	0,239	0,167	0,0254
10,5	9030,100	0,251	0,175	0,0266
11,0	9460,104	0,263	0,183	0,0279
11,5	9890,109	0,275	0,192	0,0292
12,0	10320,114	0,287	0,200	0,0304
12,5	10750,119	0,299	0,208	0,0317
13,0	11180,124	0,311	0,217	0,0330
13,5	11610,129	0,323	0,225	0,0342
14,0	12040,134	0,334	0,233	0,0355
14,5	12470,138	0,346	0,242	0,0368
15,0	12900,143	0,358	0,250	0,0380

Sendo:

T_{AF} : temperatura da água fria ($^{\circ}\text{C}$);

T_{AM} : temperatura da água de utilização ($^{\circ}\text{C}$);

P: potência do aquecedor em (kW);

K: potência do aquecedor em (kcal/h);

Q_{AM} : vazão da água de utilização (l/s);

Consumo: consumo de energia elétrica durante a utilização do aquecedor (kWh/min);

Custo: custo da energia elétrica consumida por minuto (dólar/min).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Guilherme Gomes de. *Avaliação durante operação (ADO): metodologia aplicada aos sistemas prediais*. São Paulo: EPUSP, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994.

AMORIN, Simar Vieira de. *Instalações prediais hidráulico-sanitárias*. São Carlos: USP, 1989. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Escola de Engenharia de São Carlos, 1989.

BELINAZO, Hélio João. *Instalações hidrosanitárias prediais*. Santa Maria: UFSM, 1993. Polígrafo de aula.

DENARDIN, Ceres Baratto. *Formulação de metodologia para determinação do custo da energia consumida no aquecimento de água em unidades residenciais*. Santa Maria: UFSM, 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Maria, 1992.

GNIPPER, Sérgio Frederico. *Comportamento ideal dos aquecedores de acumulação domésticos*. São Paulo: EPUSP, 1986.

IOSHIMOTO, Eduardo. Tecnologia e conservação de energia para o aquecimento de água em edifícios. In: VIII Simpósio Nacional de Sistemas Prediais. *Anais*.

OLIVA, George Andrew. Tecnologias de aquecimento solar de água e conservação de energia. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1993, São Paulo. *Anais*. São Paulo: ANTAC, 1993. p. 420-421.