

# AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR AO BANHO: INFLUÊNCIA DA RESOLUÇÃO TEMPORAL DA TÉCNICA DE MEDIÇÃO DA DEMANDA SOBRE SUA REDUÇÃO NO HORÁRIO DE PONTA

**Helena Flávia Napolini** – helenaf@eel.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Elétrica

**Ricardo Rütther** – ruther@ecv.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

**Resumo.** Este trabalho visa levantar hábitos de banho e analisar a influência da resolução temporal adotada na técnica de medição da demanda elétrica sobre a redução da demanda no horário de ponta proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho, a partir de dados de demanda elétrica com o banho, registrados por medidores de energia. Os resultados mostram que a medição da demanda elétrica, em intervalos de 15 minutos, não é adequada para avaliar e verificar os benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho por subestimar fortemente a redução da demanda ativa no horário de ponta. Adicionalmente, constatou-se que a resolução temporal de 1 minuto pode ser considerada adequada para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho sobre a demanda no horário de ponta.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Energia Solar Térmica para o Banho Humano, Aquecimento Solar de Água, Gerenciamento pelo Lado da Demanda.

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de água quente com o banho e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica para aquecer a água para este fim são fortemente dependentes do comportamento do banhista. A maioria dos dados disponíveis sobre consumo de água quente é oriunda de medições realizadas em países desenvolvidos (Jonson e Holtzberg, 1994; Lowenstein e Hiller, 1996 e 1998; Abrams e Shedd, 1996; Jordan e Vagen, 2000; Knudsen, 2002), com raras exceções (Meyer e Tshimankinda, 1998a e 1998b e Papakostas et al., 1995). No Brasil, apesar de que informações parciais sobre o uso final da água (Rocha et al., 1998) e da energia elétrica (Prado e Gonsalvez, 1998) possam ser encontradas, a falta de informação sobre o consumo de água quente doméstica e da energia elétrica utilizada para aquecer a água para este fim é ainda uma dificuldade a ser superada. Não existe um perfil de usuário típico para ser usado como referência. O consumo de água quente e, conseqüentemente, o consumo de energia com o banho sofre grande influência de características econômicas e socioculturais, o que exige um estudo abrangente para a caracterização do perfil de consumo das várias regiões do país.

Embora o levantamento de informações sobre o consumo de água quente com o banho via questionários possa apresentar o inconveniente de a informação coletada ser muitas vezes difícil de ser estimada pelo entrevistado, através de critérios adequados é possível selecionar um grupo com perfil de consumo homogêneo e que também seja adequado às dimensões do sistema de aquecimento solar. Vine et al. (1987) investigaram o consumo doméstico de água quente em quatro edifícios administrados pela Autoridade de Moradia Pública da Cidade de São Francisco. Seus resultados demonstraram que a informação coletada via questionário pode ser utilizada para estimar o consumo de água quente, sem monitoração detalhada.

No Brasil, a energia elétrica é a fonte energética responsável pelo aquecimento da água para o banho em 73,5% dos domicílios brasileiros, enquanto o gás é responsável pelo aquecimento da água para o banho em 5,9% e a energia solar térmica é utilizada para este fim em 0,4% dos lares brasileiros. O chuveiro elétrico está presente em 73,1 % dos lares, com percentuais de distribuição de posse bem diferenciados nas diversas regiões do país. O chuveiro elétrico está maciçamente presente nas residências das regiões sul, sudeste e centro-oeste, predominando na região sul, onde aproximadamente 99% dos domicílios o possuem para fins de aquecimento de água para o banho. No setor residencial brasileiro, o consumo de energia elétrica constitui-se basicamente de aquecimento de água, seguido de refrigeração e iluminação e o chuveiro elétrico é responsável em média por 24% do consumo residencial no país (Procel/Eletróbrás, 2007). O chuveiro elétrico é o equipamento responsável pela maior parcela de consumo de uma residência.

As curvas de cargas residenciais médias diárias das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil apresentam aumento de demanda de potência no período compreendido entre 18 e 21h. O segmento residencial responde por significativa parcela deste pico e o chuveiro elétrico é um dos equipamentos que mais contribuem para que isto ocorra, já que nestas regiões está presente praticamente na totalidade das residências, com uso predominantemente no horário de ponta. Os chuveiros elétricos devem ser alvos de políticas de conservação de energia já que funcionam principalmente no horário de ponta, com elevada potência e reduzido período de uso, resultando em baixos fatores de carga (Prado et al, 1998, Geller et al, 2002 e Almeida et al, 2001). Aproximadamente 48,3% dos banhos quentes do país apresentam duração menor do que 10 minutos (Procel/Eletróbrás, 2007). Nos últimos anos, o problema se agravou

devido ao contínuo aumento da potência dos chuveiros elétricos. Atualmente pode-se afirmar que o aquecimento da água para o banho é responsável por um dos grandes problemas energéticos que o Brasil enfrenta.

Naspolini & Rütther (2012) avaliaram a viabilidade econômica da agregação da energia solar térmica ao banho na habitação popular através de técnicas de medição e verificação da demanda elétrica, registrada em intervalos de 15 minutos, por um grupo de sistemas de aquecimento solar monitorados, instalados em moradias populares em Florianópolis, Brasil e constataram que existe potencial para se financiar a inserção do sistema termossolar na moradia popular em condições favoráveis ao setor elétrico e ao consumidor final. Entretanto, devido à curta duração do banho quente, a medição da demanda ativa para fins de faturamento da energia elétrica em intervalos de 15 minutos pode não ser adequada para avaliar e verificar os benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho por subestimar fortemente a redução da demanda ativa no horário de ponta, e, conseqüentemente, os custos evitados proporcionados pela mesma, levando a análises financeiras do retorno do investimento em sistemas de aquecimento solar da água para o banho muito conservadoras.

## 2. METODOLOGIA

Visando contribuir para a inserção da energia solar térmica na habitação popular, este trabalho tem por objetivo levantar hábitos de banho e analisar a influência da resolução temporal adotada na técnica de medição da demanda elétrica sobre a redução da demanda no horário de ponta proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho, a partir de dados de demanda elétrica registrados em intervalos de 5 minutos, durante o ano de 2004, por medidores de energia elétrica instalados em unidades consumidoras do Edifício Residencial Solar Buona Vita (Abreu et al. (2004), Colle et al. (2004) e Salazar et al. (2005)).

Os consumidores foram selecionados através de um questionário para identificação de perfis de consumo de água quente, baseado no modelo proposto por Vine et al. (1987) e Abreu et al. (2004). O critério de seleção das famílias levou em consideração o número total de moradores da unidade consumidora, o número de banhos (quente/morno) diários por morador e o número total anual de minutos no banho usando água quente/morna, por unidade consumidora. Foram selecionadas 90 unidades consumidoras. A amostra das 90 famílias selecionadas, classificada na classe social: média renda (renda média familiar, em 2004, de aproximadamente 5 salários mínimos), apresenta média de 3 pessoas/família (2 adultos e 1 criança) e desvio padrão 0,9. O domicílio integrante da classe amostral selecionada para este estudo é generalizado por um padrão de 3 pessoas por habitação de 2 quartos, sala, cozinha e banheiro. O grupo total de 90 consumidores foi dividido em dois subgrupos: Grupo “SE”, composto de 60 consumidores, com suprimento de água quente para o banho fornecido por sistemas híbridos (sistema solar para pré-aquecimento da água e chuveiro elétrico do tipo “potência ajustável”, no ponto de uso) e Grupo “E”, composto de 30 consumidores, com suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido por chuveiros elétricos do tipo “potência ajustável”, no ponto de uso. O Grupo E foi utilizado como referência para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho sobre a potência ativa e sobre a demanda ativa solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água. Em cada unidade consumidora selecionada foi instalado um medidor de energia elétrica (ELO, 2002) junto ao quadro de distribuição da instalação elétrica, conectado em série com o circuito do chuveiro elétrico. Todos os chuveiros elétricos utilizados são do tipo “potência ajustável”, de mesmo modelo e fabricante, com ajuste de potência manual até 6,8 kW. Os valores medidos das variáveis: demanda ativa e reativa, tensão de operação e do fator de potência foram registrados em intervalos de 5 minutos em 12 meses consecutivos, no período de um ano (2004).

Os sistemas solares monitorados funcionam como termossifão e são constituídos por uma cobertura de vidro com área de placa de aproximadamente 1,4 m<sup>2</sup> e reservatório térmico com capacidade de 100 litros ([www.solares-online.com.br](http://www.solares-online.com.br), 2009). Maiores informações sobre estes sistemas podem ser obtidos em Colle et al (2003) e Salazar et al (2003). O aquecimento auxiliar da água a ser usada no banho foi proporcionado apenas pelo chuveiro elétrico com potência variável.

Em 2004, Florianópolis apresentou valor mínimo de irradiação solar média diária de 2,46 kWh/m<sup>2</sup> em julho (inverno), valor máximo de 5,72 kWh/m<sup>2</sup> em dezembro (verão), valor médio diário de 4,20 kWh/m<sup>2</sup>, irradiação solar anual incidente sobre o plano horizontal de 1.536,53 kWh/m<sup>2</sup>, valor mínimo de temperatura média diária de 16,3°C, registrado em julho (inverno), valor máximo de 24,81°C, registrado em fevereiro (verão) e a temperatura média diária de 20,9°C (Naspolini et. al, 2010). O ano de 2004 pode ser considerado um ano típico (Naspolini & Rütther, 2011).

As Eq. (1) e (2) descrevem o comportamento da potência ativa solicitada pelo chuveiro à rede elétrica e do fator de potência, em função de  $\alpha$  (Oliveira e Kassick, 2008).

$$P(\alpha) = \frac{V^2 ef}{R} \cdot \frac{\pi - \alpha + \frac{1}{2} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)}{\pi} \quad (1)$$

$$FP(\alpha) = \sqrt{\frac{\pi - \alpha + \frac{1}{2} \cdot \sin(2 \cdot \alpha)}{\pi}} \quad (2)$$

Através das Eq. (1) e (2), obtém-se:

$$P(\alpha) = \frac{V^2 e_f}{R} \cdot (FP(\alpha))^2 \quad (3)$$

onde:

- P( $\alpha$ ) - Potência ativa, expressa em W;
- V ef - Tensão eficaz da rede elétrica, expressa em V (220 V);
- $\alpha$  - Ângulo de disparo do Triac, expresso em radianos (varia de 0 a  $\pi$  radianos);
- R - Valor do resistor, expresso em  $\Omega$  (R= 7,1  $\Omega$ );
- FP( $\alpha$ ) - Fator de potência.

Para levantar hábitos de banho, para ambos os grupos, a metodologia adotada buscou obter, ao longo do período analisado, a evolução mensal da duração média e da frequência média diária de banhos quentes tanto no horário de ponta como fora deste. O horário de ponta consiste, para todos os dias úteis da semana (segunda a sexta-feira), do período compreendido no intervalo de tempo entre 18h30min e 21h30min ([www.celesc.com.br](http://www.celesc.com.br), 2012).

A Eq. (4) apresenta a estimativa da duração do banho quente, para cada intervalo de 5 minutos, a partir da energia medida e da potência ativa calculada através da Eq. (3). Este trabalho admite que a potência ativa utilizada pelo chuveiro elétrico para aquecer a água para o banho é constante, a cada intervalo de 5 minutos.

$$t = \frac{E}{P(\alpha)} \quad (4)$$

onde:

- t - Duração do banho, em intervalos de 5 minutos, expresso em horas;
- E - Energia elétrica consumida pelo chuveiro, em intervalos de 5 minutos, expressa em kWh;
- P( $\alpha$ ) - Potência solicitada à rede elétrica para aquecer a água para o banho (estimativa), em intervalos de 5 minutos, expressa em kW.

A duração total de cada banho quente pode ser obtida através da soma das durações do banho, calculadas em cada intervalo de 5 minutos, integrante do intervalo de medição do banho.

Para cada família selecionada, através das demandas individuais registradas mensalmente pelos medidores de energia elétrica em intervalos de 5 minutos, foram identificados os banhos quente/morno e estimado o número total de banhos quente/morno (mensal e anual) e o número total de minutos de banho quente/morno (mensal e anual). Finalmente, para os 12 meses do período analisado e para ambos os grupos, foram estimadas a duração média do banho bem como a frequência média diária de banho quente/morno por pessoa. Este trabalho adota como definição para demanda, a média das potências ativas solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho durante um intervalo de tempo especificado.

Para analisar a influência da resolução temporal adotada na técnica de medição da demanda elétrica sobre a redução anual da demanda no horário de ponta proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho, através dos valores individuais das demandas registradas pelos medidores de energia elétrica em intervalos de 5 minutos, foram levantadas para os 12 meses do período analisado e para ambos os grupos classificados pela posse da energia, as curvas mensais da potência ativa utilizada para aquecer a água para o banho (Eq. (3)) em intervalos de 5 minutos e as curvas mensais de demanda em intervalos de 5 minutos, de 15 minutos e de 1 hora. Adicionalmente, foram identificados e comparados mensalmente seus respectivos valores máximos ocorridos no horário de ponta. A demanda em intervalos de 15 minutos coincide com a definição de demanda medida adotada pelo sistema elétrico brasileiro e consiste na maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada no intervalo de 15 minutos durante o período de faturamento, expressa em kW (Resolução 414/2010 da ANEEL). Para ambos os grupos as curvas mensais de potência e de demanda representam uma unidade consumidora hipotética, cujo significado pode ser interpretado de duas formas: representam a divisão das respectivas curvas de potência ou de demanda mensal pelo número de consumidores atendidos ou, ainda, refletem os consumos mensais de energia elétrica de tal unidade consumidora, considerando as frações dos equipamentos de aquecimento de água possuídos e expandidos para o universo das unidades consumidoras, bem como os hábitos de uso, conforme medições obtidas por amostragem.

Para os 12 meses do período analisado e por grupo classificado pela utilização da energia para fins de aquecimento da água para o banho através das curvas mensais de demanda em intervalos de 5 minutos foram obtidos os fatores de carga do chuveiro elétrico, conforme mostra a Eq. (5).

$$Fc = D^{MED} / D^{MAX} \quad (5)$$

onde:

$F_c$  - Fator de carga no intervalo de tempo especificado;

$D^{MED}$  - Demanda média no intervalo de tempo especificado, expressa em W;

$D^{MAX}$  - Demanda máxima no intervalo de tempo especificado, expressa em W;

As Eq. (6) e (7) apresentam respectivamente, para o horário de ponta e por unidade consumidora, a redução da potência ativa (potência evitada) em intervalos de 5 minutos e a redução da demanda (em intervalos de 5 minutos, 15 minutos e 1 hora), no intervalo de tempo especificado.

$$RPP = P_E^{MAX} - P_{S+E}^{MAX} \quad (6)$$

$$RDP = D_E^{MAX} - D_{S+E}^{MAX} \quad (7)$$

onde:

$RPP$  - Redução da potência ativa no horário de ponta em intervalos de 5 minutos, no intervalo de tempo especificado, expressa em kW;

$P_E^{MAX}$  - Valor máximo mensal da potência ativa no horário de ponta em intervalos de 5 minutos, no intervalo de tempo especificado, causado pelo suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido pela energia elétrica, expressa em kW;

$P_{S+E}^{MAX}$  - Valor máximo mensal da potência ativa no horário de ponta em intervalos de 5 minutos, no intervalo de tempo especificado, causado pelo suprimento de água quente para o banho fornecido pela energia solar assistida por energia elétrica, expressa em kW;

$RDP$  - Redução da demanda no horário de ponta em intervalos de 5 minutos ou de 15 minutos ou de 1 hora, no intervalo de tempo especificado, expressa em kW;

$D_E^{MAX}$  - Valor máximo da demanda no horário de ponta em intervalos de 5 minutos ou de 15 minutos ou de 1 hora, no intervalo de tempo especificado, causado pelo suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido pela energia elétrica, expressa em kW;

$D_{S+E}^{MAX}$  - Valor máximo da demanda no horário de ponta em intervalos de 5 minutos ou de 15 minutos ou de 1 hora, no intervalo de tempo especificado, causado pelo suprimento de água quente para o banho fornecido pela energia solar assistida por energia elétrica, expressa em kW.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 ilustra para o banho quente analisado, a partir dos dados apresentados na Tab. 1, em intervalos de 5 minutos, a demanda (D) registrada pelo medidor de energia elétrica, a estimativa da potência ativa instantânea  $P(\alpha)$ , a energia elétrica medida e a consumida com o banho e a estimativa da duração do banho quente (t).

Tabela 1 – Estimativa da potência ativa e da duração do banho quente

Relatório de memória de massa completo									
Cliente :									
Leitor: 421080		Medidor: 42180052		Emissão: 26/04/2004 14:14:15					
Modelo: 0113		Procedimento: Calculado			Geração: 03/04/2004 21:12:23				
Período: de 00:00:00 - 01/03/2004 às 00:00:00 - 01/04/2004 - Intervalo: 00:05:00 (hh:mm:ss)									
Total de horas registradas: 31 dia(s) e 00:00:00 - equivalente a: 744: 0 horas									
R chuveiro (Ω)	7,1	Medições			Cálculo da duração do banho				
Hora do Banho		P	Q	V	FPDireto	Banho	P(α)	t do banho	
Data	H HV	kW	kvar	V	%		kW	min	min
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
01/03/2004	22:35:00	-	-	221,02	0,0%	N	-	-	
01/03/2004	22:40:00	-	-	201,49	0,0%	N	-	-	
01/03/2004	22:45:00	1,536	0,480	200,93	95,4%	S	5,43	1,42	2,34
01/03/2004	22:50:00	1,056	0,336	206,23	95,3%	S	5,71	0,92	
01/03/2004	22:55:00	-	-	216,84	0,0%	N	-	-	
01/03/2004	23:00:00	-	-	219,91	0,0%	N	-	-	
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Para o intervalo de tempo compreendido entre 22h40min e 22h45 min, a potência ativa solicitada ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho (estimada através da Eq. (3)) apresentou valor de 5,43 kW e a demanda ativa registrada pelo medidor número 42180052 foi de aproximadamente 1,54 kW. Para o intervalo de tempo compreendido

entre 22h45min e 22h50min a potência ativa apresentou valor de 5,71 kW e a demanda registrada pelo medidor valor de aproximadamente 1,06 kW. Portanto, no intervalo de tempo analisado (22h40min à 22h50min), devido ao baixo fator de carga do chuveiro elétrico, os resultados mostram que a demanda ativa registrada pelo medidor de energia elétrica em intervalos de 5 minutos não representa adequadamente a potência ativa solicitada à rede elétrica para aquecer a água para o banho.

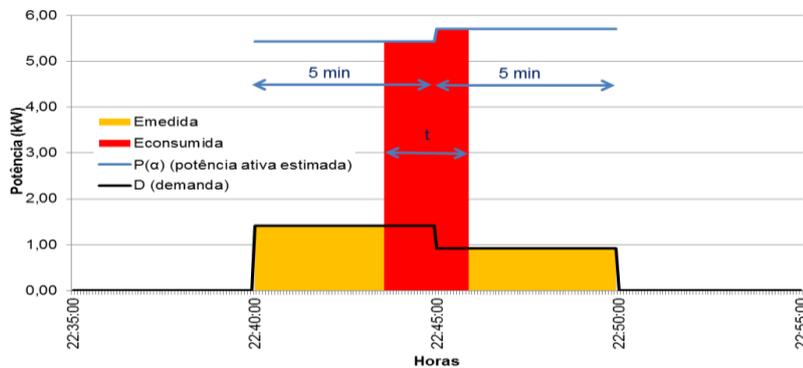


Figura 1 – Demanda registrada pelo medidor de energia elétrica, em intervalos de 5 minutos, estimativa da potência ativa instantânea  $P(\alpha)$  e da duração do banho quente, em intervalos de 5 minutos, energia elétrica medida, energia elétrica consumida com o banho quente e estimativa da duração do banho quente (t)

A duração total de cada banho quente foi obtida através da soma das durações do banho, calculadas para cada intervalo de 5 minutos, integrante do intervalo de medição do banho. Os resultados mostram para o banho quente analisado duração de 2,34 minutos.

As Tab. 2 e 3 apresentam para o período analisado e por grupo classificado pela utilização da energia para fins de aquecimento da água para o banho, a evolução mensal da duração média do banho e da frequência média diária de banhos. Neste trabalho foram registrados e analisados apenas dados referentes aos banhos assistidos por energia elétrica. Portanto, banhos para os quais o aquecimento da água foi feito apenas pela apropriação da energia solar ou banhos utilizando água fria não foram analisados.

Tabela 2 - Evolução mensal da duração média do banho/pessoa expressa em minutos

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	med
SE	3,97	3,49	3,83	3,97	5,37	5,46	6,20	5,90	5,00	5,04	4,09	3,87	4,68
E	4,04	4,02	4,29	4,31	5,71	5,76	6,13	6,12	5,87	5,71	5,02	4,87	5,15

Tabela 3 - Evolução mensal da frequência média diária de banhos/pessoa

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	med
SE	1,06	0,85	0,70	0,67	0,75	0,83	0,81	0,82	0,89	0,79	0,73	0,70	0,80
E	1,21	1,09	1,15	1,04	0,89	0,97	0,89	0,82	0,90	0,86	0,98	0,97	0,98

Os resultados mostram que no período analisado para o grupo que utiliza apenas a energia elétrica, a duração média do banho é de 5,15 minutos/pessoa e sua frequência média diária é de 0,98 banhos/pessoa. Para o grupo que utiliza a energia solar para o mesmo fim, a duração média do banho é de 4,68 minutos/pessoa e sua frequência média diária é de 0,80 banhos/pessoa. Observou-se ainda que, nos meses do ano com predominância de maiores temperaturas, os banhos são mais frequentes, porém de menor duração, enquanto nos meses mais frios os banhos são menos frequentes, porém de maior duração. As diferenças encontradas nos valores calculados para ambos os grupos, tanto na duração média do banho como na frequência média diária do mesmo, podem ser justificadas pela possibilidade de que em dias mais quentes, a energia solar pode ter sido totalmente suficiente para aquecer a água para o banho, dispensando completamente o uso do chuveiro elétrico ou ainda por pequenas diferenças de hábitos dos banhistas. Por estas razões, este trabalho considera a duração média do banho assistido por energia elétrica de 5,15 minutos/pessoa e sua frequência média diária de 0,98 banhos/pessoa.

As Tab. 4 e 5 apresentam, para o período analisado e por grupo classificado pela utilização da energia para fins de aquecimento da água para o banho, a evolução mensal da duração do banho e da frequência média diária de banhos, tanto no horário de ponta como fora do horário de ponta.

Os resultados mostram que no período analisado para o grupo que utiliza apenas energia elétrica, a duração média do banho, no horário de ponta, é de 5,48 minutos/pessoa e no horário fora da ponta é de 5,03 minutos/pessoa. Para o

grupo que utiliza a energia solar para o mesmo fim, a duração média do banho, no horário de ponta, é de 4,73 minutos/pessoa e a duração média do banho, no horário fora da ponta, é de 4,67 minutos/pessoa. A duração média do banho no horário de ponta é 8,9% maior do que a duração média do banho fora do horário de ponta.

Tabela 4 - Evolução mensal da duração média do banho/pessoa no horário de ponta (P) e fora do horário de ponta (FP), expressa em minutos.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	med
SE (FP)	3,83	3,39	3,69	3,81	5,32	5,58	6,23	6,00	5,05	5,10	4,17	3,87	4,67
SE(P)	4,43	3,79	4,29	4,45	5,50	5,12	6,12	5,64	4,87	4,88	3,88	3,76	4,73
E(P)	4,68	4,19	4,46	4,26	6,30	6,28	6,26	6,59	6,61	6,05	5,09	4,98	5,48
E(FP)	3,81	3,95	4,22	4,33	5,49	5,56	6,09	5,94	5,56	5,57	5,00	4,83	5,03

Tabela 5 - Evolução mensal dos valores percentuais da frequência média diária de banhos no horário de ponta (P) e fora do horário da ponta (FP)

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Med
SE(FP)	76,6	76,0	75,7	75,1	73,9	74,2	72,7	71,5	71,3	73,8	71,3	72,3	73,8
SE(P)	23,4	24,0	24,3	24,9	26,1	25,8	27,3	28,5	28,7	26,2	28,7	27,7	26,2
E(P)	26,1	26,9	27,3	27,8	26,3	27,5	24,3	27,9	29,1	28,6	28,9	27,5	27,3
E(FP)	73,9	73,1	72,7	72,2	73,7	72,5	75,7	72,1	70,9	71,4	71,1	72,5	72,7

Para o grupo que utiliza apenas energia elétrica para aquecer a água para o banho, em média 27,3% dos banhos ocorre no horário de ponta e 72,7% dos banhos ocorrem fora do horário de ponta e para o grupo que utiliza a energia solar térmica para o mesmo fim, em média 26,2% dos banhos ocorre no horário de ponta e 73,8 % dos banhos ocorrem fora do horário de ponta. Os resultados mostram que ambos os grupos apresentarem no que diz respeito à frequência diária de banhos, comportamentos similares, tanto em horário de ponta como fora deste.

A Tab. 6 apresenta para o período analisado e por grupo classificado pela utilização da energia para fins de aquecimento da água para o banho, a evolução mensal do fator de carga.

Tabela 6 - Evolução mensal do fator de carga

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SE	0,12	0,09	0,07	0,07	0,10	0,09	0,10	0,09	0,10	0,10	0,08	0,07
E	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Os resultados mostram para ambos os grupos analisados fatores de carga mensais similares variando entre 0,07 e 0,1. A similaridade encontrada entre os fatores mensais de carga pode ser justificada por ambos os grupos apresentarem no que diz respeito à duração e frequência diária de banhos, comportamentos similares. Portanto, sob a ótica do setor elétrico, o chuveiro é um dispositivo elétrico inadequado em função do horário de uso (utilizado principalmente no horário de ponta), de sua elevada potência e de seu baixo fator de carga.

A Tab. 7 apresenta a evolução mensal dos valores máximos da potência ativa e a redução da potência ativa no horário de ponta.

Tabela 7 - Evolução mensal dos valores máximos da potência ativa e redução da potência ativa no horário de ponta

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P_{SE}^{MAX}$ (kW)	0,75	0,56	0,69	0,70	0,75	0,94	1,03	1,15	1,03	0,82	0,88	0,69
$P_E^{MAX}$ (kW)	1,82	1,40	1,52	1,26	1,51	1,67	1,47	1,42	1,39	2,01	1,47	1,60
RPP (kW)	1,07	0,84	0,83	0,56	0,76	0,73	0,44	0,27	0,36	1,19	0,59	0,91
RPP (%)	58,8	60,0	54,6	44,4	50,3	43,7	29,9	19,0	25,9	59,2	40,1	56,8

Os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica proporcionou a menor redução percentual da potência ativa/unidade consumidora no horário de ponta no mês de agosto (19%), mês de menor incidência de irradiação solar média diária sobre o plano horizontal (3,78 kWh/m<sup>2</sup>) e temperatura média diária (17,51°C) e a maior

redução da potência ativa/unidade consumidora no horário de ponta, em fevereiro (60%), mês de maior temperatura média diária (24,8°C) e irradiação solar média diária sobre o plano horizontal (5,62 kWh/m<sup>2</sup>). No ano de 2004, a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou a significativa redução da potência ativa no horário de ponta, de 0,86 kW/unidade consumidora (40,9%).

A Tab. 8 apresenta a evolução mensal dos valores máximos da demanda e a redução mensal da demanda no horário de ponta em intervalos de 5 minutos.

Tabela 8 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda e redução da demanda no horário de ponta (RDP) em intervalos de 5 minutos

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$D_{SE}^{MAX}$ (kW)	0,29	0,29	0,24	0,37	0,39	0,53	0,54	0,55	0,46	0,33	0,38	0,26
$D_E^{MAX}$ (kW)	0,59	0,51	1,00	0,55	0,90	1,07	0,85	0,78	0,91	0,80	0,87	0,91
RDP (kW)	0,3	0,22	0,76	0,18	0,51	0,54	0,31	0,23	0,45	0,47	0,49	0,65
RDP (%)	50,8	43,1	76,0	32,7	56,7	50,5	36,5	29,5	49,5	58,8	56,3	71,4

Os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica proporcionou redução significativa da demanda no horário de ponta em intervalos de 5 minutos em todos os meses do período analisado. Os resultados mostram ainda, menor redução percentual da demanda/unidade consumidora, no horário de ponta, no mês de agosto (29,5%), mês de menor incidência de irradiação solar média diária sobre o plano horizontal (3,78 kWh/m<sup>2</sup>) e temperatura média diária de 17,51°C e a maior redução da demanda/unidade consumidora, no horário de ponta, em dezembro (71,4%), mês de maior irradiação solar média diária sobre o plano horizontal (5,72 kWh/m<sup>2</sup>) e temperatura média diária de 23,69°C. No ano de 2004, a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou a significativa redução da demanda no horário de ponta em intervalos de 5 minutos de 0,52 kW/unidade consumidora (48,6%).

A Tab. 9 apresenta a evolução mensal das máximas demandas e a redução da demanda no horário de ponta (RDP) em intervalos de 15 minutos proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho.

Tabela 9 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda e redução da demanda no horário de ponta em intervalos de 15 minutos

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$D_{SE}^{MAX}$ (kW)	0,26	0,18	0,19	0,22	0,32	0,35	0,38	0,44	0,34	0,29	0,24	0,22
$D_E^{MAX}$ (kW)	0,53	0,40	0,65	0,46	0,55	0,76	0,61	0,62	0,55	0,73	0,61	0,51
RDP (kW)	0,27	0,22	0,46	0,24	0,23	0,41	0,23	0,18	0,21	0,44	0,37	0,29
RDP (%)	50,9	55,0	70,8	52,2	41,8	53,9	37,7	29,0	38,2	60,3	60,7	56,9

Os resultados mostram que o pré-aquecimento solar da água para o banho proporcionou redução significativa da demanda medida no horário de ponta, em todos os meses do ano. A menor redução da demanda medida no horário de ponta por unidade consumidora, foi de 0,18 kW (29%), registrada em agosto (inverno) e a maior redução foi de 0,46 kW (70,8%), registrada em março (verão). No período analisado, o valor anual encontrado para a RDP, em intervalos de 15 minutos, foi de aproximadamente 0,32 kW/unidade consumidora (42,1%).

A Tab. 10 apresenta a evolução mensal das máximas demandas e a redução da demanda no horário de ponta (RDP) em intervalos de 1 hora proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho. No período analisado, o valor anual encontrado para a RDP, em intervalos de 1 hora, foi de aproximadamente 0,08 kW/unidade consumidora (38,1%).

Tabela 10 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda e redução da demanda no horário de ponta (RDP), em intervalos de 1 hora

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$D_{SE}^{MAX}$ (kW)	0,08	0,06	0,05	0,06	0,10	0,11	0,13	0,13	0,12	0,08	0,06	0,06
$D_E^{MAX}$ (kW)	0,14	0,12	0,12	0,13	0,16	0,18	0,21	0,20	0,20	0,17	0,18	0,12
RDP (kW)	0,06	0,06	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,09	0,12	0,06
RDP (%)	42,9	50,0	58,3	53,8	37,5	38,9	38,1	35	40	52,9	66,7	50

A Fig. 2 apresenta, a partir dos dados apresentados na Tab. 11, a redução da demanda no horário de ponta (RDP) em função do número de registros da curva de demanda.

Tabela 11 – Número de registros de demanda, intervalos de tempo e RDP

Número de registros de demanda (mensal)	720	2880	8640	42.300
Intervalos de tempo (min.)	60	15	5	1
RDP (W)	80	320	540	860*

\*valor estimado baseado na experiência dos autores em registros de dados de demanda elétrica para cargas com baixo fator de carga

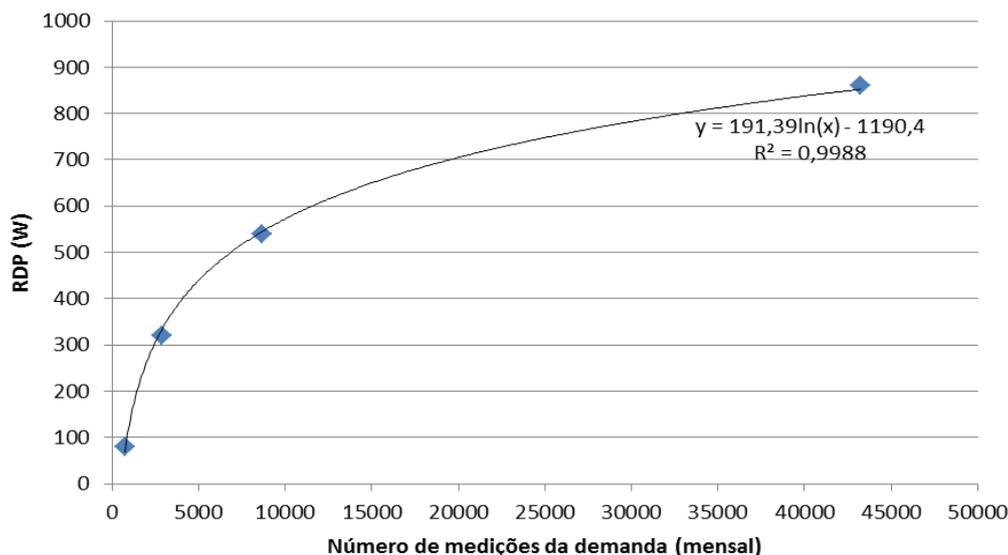


Figura 2 - Redução da demanda no horário de ponta em função do número de registros de demanda

Os resultados mostram a forte influência da resolução temporal adotada na técnica de medição da demanda elétrica sobre a redução da demanda no horário de ponta. As diferenças encontradas, facilmente justificáveis pelo baixo fator de carga do chuveiro elétrico, são mais significativas à medida que a resolução temporal adotada na técnica de medição da demanda diminui. Através da curva apresentada na Fig. 2 obteve-se para a RDP em intervalos de 1 minuto valor de aproximadamente 853 W (erro percentual de 0,8%). Portanto, a medição da demanda elétrica em intervalos de 1 minuto pode ser considerada adequada para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho sobre a demanda no horário de ponta.

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho levantou hábitos de banho e analisou a influência da resolução temporal adotada na técnica de medição da demanda elétrica sobre a redução da demanda no horário de ponta proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho, a partir de dados de demanda ativa registrados durante o ano de 2004, por medidores de energia elétrica instalados em unidades consumidoras do Edifício Residencial Solar Buona Vita.

Os resultados mostram que no período analisado a duração média do banho é de aproximadamente 5 minutos/pessoa e sua frequência média diária é de aproximadamente 1 banho/pessoa. Nos meses do ano com predominância de maiores temperaturas os banhos são mais frequentes, porém de menor duração, enquanto que nos meses mais frios são menos frequentes, porém de maior duração. A duração média do banho no horário de ponta é 8,9% maior do que a duração do banho no horário fora da ponta. Para ambos os grupos analisados, os fatores de carga mensais são muito baixos (variando de 0,07 e 0,1). Os resultados mostram claramente que, sob a ótica do setor elétrico, o chuveiro é um dispositivo elétrico inadequado em função do horário de uso (utilizado principalmente no horário de ponta), de sua elevada potência e de seu baixo fator de carga.

Para avaliar a influência da resolução temporal adotada na técnica de medição da demanda elétrica sobre a redução da demanda no horário de ponta proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho a partir de dados individuais de demanda registrados em intervalos de 5 minutos por medidores de energia elétrica, foram levantadas as curvas de potência ativa em intervalos de 5 minutos e as curvas de demanda ativa em intervalos de 5 minutos, de 15 minutos e de 1 hora. Os resultados mostraram que no período analisado a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou redução da potência ativa (potência evitada) no horário de ponta de 0,86 kW/unidade consumidora, redução da demanda no horário de ponta (RDP) em intervalos de 5 minutos de 0,52 kW/unidade consumidora, RDP em intervalos de 15 minutos de aproximadamente 0,32 kW/unidade consumidora e

RDP em intervalos de 1 hora de aproximadamente 0,08 kW/unidade consumidora. Este trabalho demonstra a forte influência da resolução temporal adotada na técnica de medição da demanda utilizada para avaliar e verificar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica sobre a demanda no horário de ponta.

Os métodos utilizados para medir a demanda elétrica variam entre as concessionárias. Para fins de faturamento, as concessionárias de energia elétrica utilizam a demanda medida, que consiste na maior demanda de potência ativa, verificada por medição, integralizada em intervalos de 15 minutos durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW). Muito frequentemente as medições de 15 minutos representam bem o comportamento das cargas. Entretanto, para o aquecimento da água para banho, devido ao baixo fator de carga, a medição da demanda em intervalos de 15 minutos, largamente adotada pelo setor elétrico para tarifação da energia elétrica, não é adequada para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho sobre a demanda no horário de ponta. Os benefícios financeiros representados pelos custos evitados pelo setor elétrico devido à redução da demanda no horário de ponta proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao banho, avaliados a partir da medição da demanda em intervalos de 15 minutos são fortemente subestimados fazendo com que as análises financeiras do retorno do investimento em sistemas solares sejam muito pessimistas. Adicionalmente, constatou-se que a resolução temporal de 1 minuto para a medição da demanda elétrica pode ser considerada adequada para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao banho sobre a demanda no horário de ponta.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Professor Sérgio Colle, Supervisor do LABSOLAR do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, pelo acesso aos dados meteorológicos referentes à cidade de Florianópolis, e também pelo acesso aos dados registrados pelos medidores de energia elétrica instalados no Edifício Residencial Buona Vita, utilizados como exemplo neste trabalho. Agradecem ainda, ao engenheiro Ernesto de Freitas Júnior e a Renato Mata Machado, acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UFSC, pela colaboração prestada na realização deste trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- Abreu, S.L., Salazar, J.P.L.C., Colle, S., 2004. Impact of compact solar domestic hot-water systems on the peak demand of a utility grid in Brazil, In: Proceedings of EUROSUN 2004, Freiburg, Germany, pp. 1832-1840.
- Abrams, D.W., Shedd, A.C., 1996. Effect of seasonal changes in use patterns and cold inlet water temperature on water heating loads, ASHRAE Transactions 102, pp. 1038-1053.
- Almeida, M.A., Schaffer, R., Rovere, E.L., 2001. The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil, Energy 26, pp. 413-429.
- ANEEL/Resolução Normativa 414 - Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada, de 09 de setembro de 2010. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Consulta em agosto de 2012.
- Celesc Distribuição SA. Horário de Ponta. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br>>. Consulta em agosto de 2012.
- Colle, S., Salazar, J.P.L.C., Abreu, S.L., Glitz, K., 2003. Cost optimization of low-cost solar domestic hot water systems assisted by electric energy, Proceedings of ISES-International Solar Energy Society, Solar World Congress, Gotemburgo, Suécia, pp. 1124-1133.
- Colle, S., Abreu, S.L., Salazar, J.P.L.C., Reguse, W., 2004. Impacto da energia solar sobre o pico de demanda de energia de chuveiros elétricos de famílias de baixa renda do Brasil, Proceedings of XII Congresso Ibérico y Iberoamericano de Energia Solar, Vigo, Spain, pp. 29-33.
- ELO Sistemas Eletrônicos S.A. Medidor Eletrônico de Energia Elétrica – Manual do Usuário, 2002.
- Gelller, H., Jannuzzi, G.M., Schaeffer, R., Tolmasquin, M.T., 2002. The efficient use of electricity in Brazil: Progress and opportunities”, Energy Policy 26 (11), pp. 859-872.
- Goulart, S.G., Lamberts, R., Firmino, S., 1998. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras - II Edição, Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, Florianópolis, Brasil, 345 p. CDU 551.58:624.
- Jónsson, G.R., Holtsberg A., Jónsson V.K., 1993. A modelling technique for estimating hot tap water consumption in district heating systems, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Part A – Journal of Power and Energy, Vol. 208, pp. 79-87.
- Jordan, U., Vajen, K., 2000. Influence of the DHW load profile on the fractional energy savings: a case study of a solar combi-system with TRNSYS simulations, Solar Energy, Vol. 69, pp. 197-208.
- Knudsen S., 2002. Consumer's influence on the thermal performance of small SDHW systems-theoretical investigations, Solar Energy, Vol. 73, pp. 33-42.
- Lowenstein, A., Hiller, C.C., 1996. Disaggregating residential hot water use, ASHRAE Transactions, Vol. 102, pp. 1019-1027.
- Lowenstein, A., Hiller, C.C., 1998. Disaggregating residential hot water use - Part II, ASHRAE Transactions, Vol. 102, pp. 1852-1863.
- Meyer J.P., Tshimankinda, M., 1998a. Domestic hot water consumption in South-African townhouses, Energy Conversion and Management, Vol. 39, pp. 679-684.

- Meyer, J.P., Tshimankinda, M., 1998b. Domestic hot water consumption in South-African apartments, *Energy*, Vol. 23, pp. 61-66.
- Naspolini, H.F., Militão, H.S.G., Rüther, R., 2010. The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil, *Energy Conversion and Management*, Vol. 51 (12), 2835-2845.
- Naspolini, H.F., Rüther, R., 2011. The impacts of solar water heating in low-income households on the distribution utility's active, reactive and apparent power demands, *Solar Energy*, Vol. 85, pp. 2023-2032.
- Naspolini, H.F., Rüther, R., 2012. Assessing the technical and economic viability of low - cost domestic solar hot water systems (DSHWS) in low-income residential dwellings in Brazil, *Renewable Energy*, Vol. 48, pp. 92-99.
- Oliveira, R.H., Kassick, E.V., 2008. Chuveiros Elétricos com Controle Eletrônico de Temperatura: Impactos no Sistema Elétrico. Relatório INEP- Instituto de Eletrônica de Potência da UFSC, Florianópolis, Brasil.
- Papakostas, K.T., Papageorgiou, N.E., Sotiropoulos, B.A., 1995. Residential hot water use patterns in Greece. *Solar Energy*, Vol. 54, pp. 369-374.
- Prado, R.T.A, Gonsalvez, O.M., 1998. Water heating through electric shower and energy demand, *Energy and Buildings*, Vol. 29, pp. 77-82.
- Procel/Eletrobrás, 2007. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso - Ano Base 2005, Classe Residencial - Relatório Brasil, Editora da Eletrobrás.
- Rocha, A. L., Barreto, D., Ioshimoto, E., 1998. Documento de Apoio Técnico nº E1: Caracterização e Monitoramento do Consumo Predial de Água, Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Nacional de Política Urbana, Brasília.
- Salazar, J.P.L.C., Abreu, S.L., Borges, T.P.F., Colle, S., Reguse, W., 2003. Optimization of a compact solar domestic hot water system for low-income families with peak demand and total cost constraints, *Proceedings of ISES-International Solar Energy Society, Solar World Congress, Gotemburgo, Suécia*, pp. 1048-1057.
- Salazar, J.P.L.C., Abreu, S.L., Colle, S., 2005. Energy conservation and electric energy peak reduction potential during peak hours for a group of low-income residential consumers of a Brazilian utility, *Proceedings of Solar World Congress-ISES 2005, Orlando, USA*, pp. 987-992.
- Vine, E., Diamond, R., Szydlowski, R., 1987. Domestic hot water consumption in four low-income apartment, *Energy*, Vol. 12, pp. 459-467.

#### **THE ROLE OF THE POWER DEMAND MEASUREMENT TIME RESOLUTION ON THE PEAK TIME DEMAND REDUCTION POTENTIAL OF DOMESTIC SOLAR WATER HEATER**

**Abstract.** *This work aims at establishing the bathing habits and evaluating the influence of the measurement time resolution on the power demand at peak time when domestic solar water heating systems are used. Our results demonstrate that a 15 minute measurement resolution of power demand is inadequate for establishing the benefits that domestic solar water heaters can bring at peak time, strongly underestimating the demand reduction. Our results also show that a 1-minute power demand time resolution measurement is considered adequate to evaluate the impacts of domestic solar water heating on peak time power demands.*

**Key words:** *Solar Energy, Domestic Solar Water Heating, Demand Side Management.*