AGREGAÇÃO DA ENERGIA SOLAR TÉRMICA AO AQUECIMENTO DA ÁGUA PARA O BANHO NA HABITAÇÃO POPULAR: IMPACTOS SOBRE A DEMANDA DE POTÊNCIA ATIVA, REATIVA E APARENTE SOLICITADAS AO SISTEMA ELÉTRICO

Helena Flávia Naspolini - helena@eel.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Elétrica
Ricardo Rüther - ruther@ecv.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

Resumo. *Este trabalho tem como objetivo avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho sobre a demanda de potência ativa, reativa e aparente solicitadas à concessionária de energia elétrica, através da utilização de metodologias de medição da demanda e da energia elétrica consumida por um grupo estatisticamente representativo de sistemas de aquecimento solar monitorados, instalados em moradias populares integrantes do Edifício Residencial Solar Buona Vitta, localizado em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Para o período analisado, os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporciona redução significativa das demandas de potência ativa, reativa e aparente solicitadas à concessionária de energia elétrica para aquecer a água para o banho.*

Palavras-chave: *Energia solar térmica para o banho humano, aquecimento solar de água, demanda de potência ativa, reativa e aparente, qualidade da energia, Gerenciamento pelo Lado da Demanda.*

1. INTRODUÇÃO

Os recursos de irradiação solar no Brasil, além de se apresentarem como uns dos maiores do mundo podem ser descritos como uniformemente distribuídos e com pequena variabilidade anual (Pereira et. al., 2006) o que torna a tecnologia termossolar a escolha natural para o aquecimento da água em edifícios residenciais (Goldenberg et. al., 2004, Rosa et. al., 2004, Carlo et. al., 2008 e Sowmy et. al., 2008).

O Brasil apresenta médias diárias regionais de irradiação solar global no plano horizontal tais como: Norte: 5.5 kWh/m², Nordeste: 5.9 kWh/m², Centro Oeste: 5.7 kWh/m², Sudeste: 5.6 kWh/m² e Sul 5.2 kWh/m² (Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2006). O índice médio anual de irradiação solar no país é maior na região Nordeste, com destaque para o Vale do São Francisco e menor na região Sul. O Nordeste possui irradiação solar comparável às melhores regiões do mundo, como a cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget, no deserto de Mojave, Califórnia (Salamoni, 2009). O nível médio diário de irradiação solar global em Florianópolis (27◦ S, 48◦ W), embora seja um dos menores níveis de irradiação solar global média diária do país, apresenta valor superior a 4,38 kWh/m2 (Colle et al, 2001). É importante ressaltar que mesmo as regiões do Brasil com menores índices de irradiação solar, apresentam grande potencial de aproveitamento energético (Souza Ramos, M. O., Vital Brazil, 2006).

Apesar da energia solar térmica complementar e contribuir no aspecto energético e ambiental, tanto quanto outras formas de energia, no Brasil, os sistemas termossolares não são considerados equipamentos geradores de energia elétrica e sim equipamentos que promovem a eficiência energética e a partir de 2000, estão incorporados nas políticas de eficiência energética do país. As ações pontuais existentes para a sua disseminação nas moradias populares se baseiam em projetos pilotos que vêm sendo realizados por concessionárias de energia elétrica, fabricantes, companhias de habitação e governo federal e sua doação às famílias de baixa renda está incluída na destinação de recursos para ações em eficiência energética (Fantinelli, J.T., 2006) e (Fantinelli et al., 2006).

A energia elétrica é a fonte energética responsável pelo aquecimento da água para o banho em 73,1% 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 (Pesquisa de Posse e hábitos de Consumo – Eletrobrás /Procel, 2007).

O chuveiro elétrico está presente em 73,1 % dos domicílios brasileiros, 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 (Pesquisa de Posse e hábitos de Consumo – Eletrobrás /Procel, 2007).

As Fig. 1, 2, 3, 4, 5 e 6 apresentam as curvas de carga residenciais médias diárias do Brasil e das regiões Norte, Nordeste, Centro – Oeste, Sudeste e sul do país.

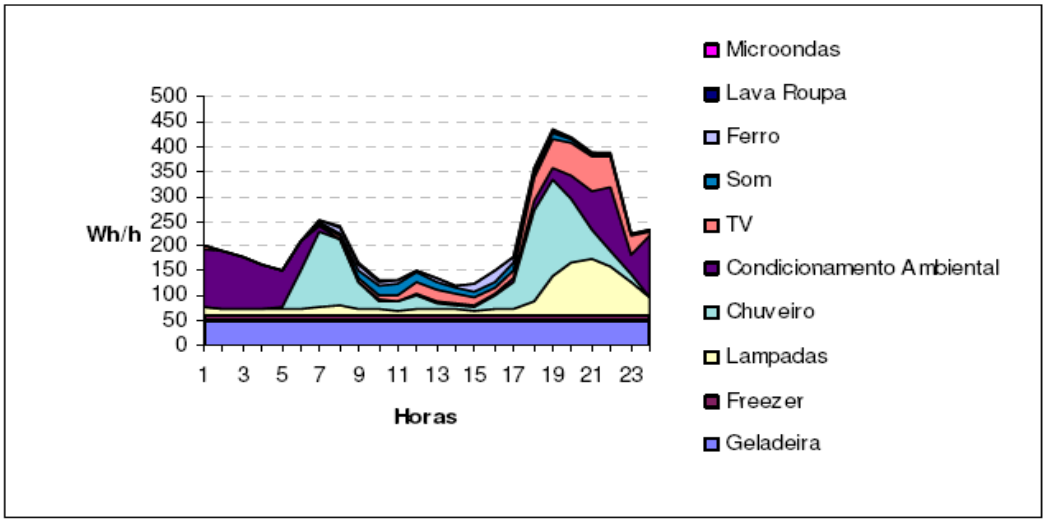


Figura 1 - Curva de carga residencial média diária – Brasil
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

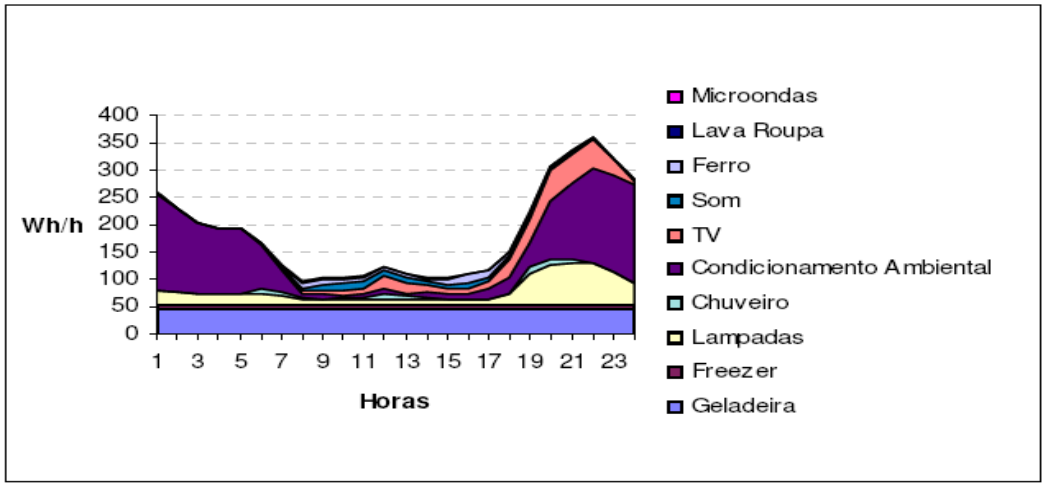


Figura 2 - Curva de carga residencial média diária - Norte
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

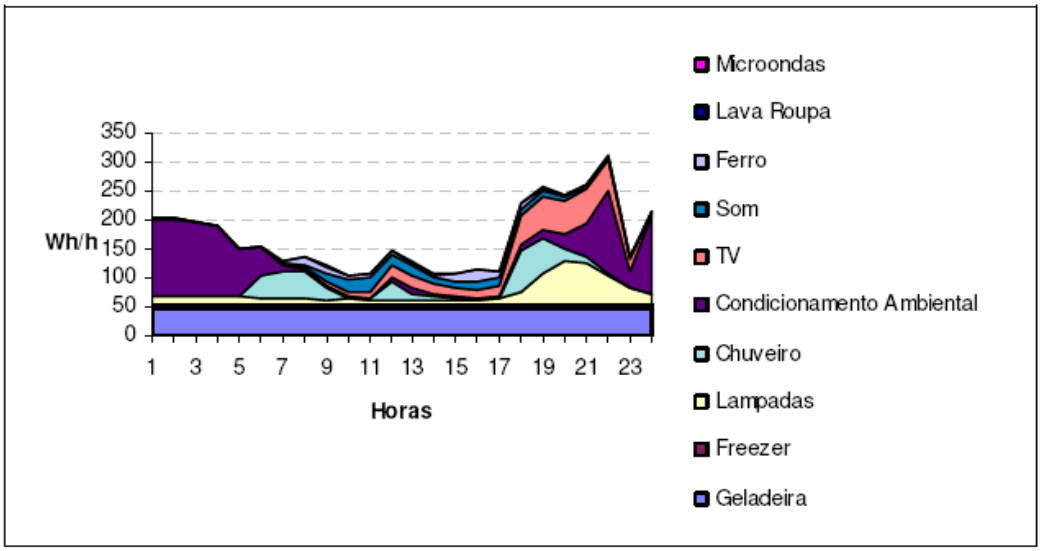


Figura 3 - Curva de carga residencial média diária - Nordeste
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

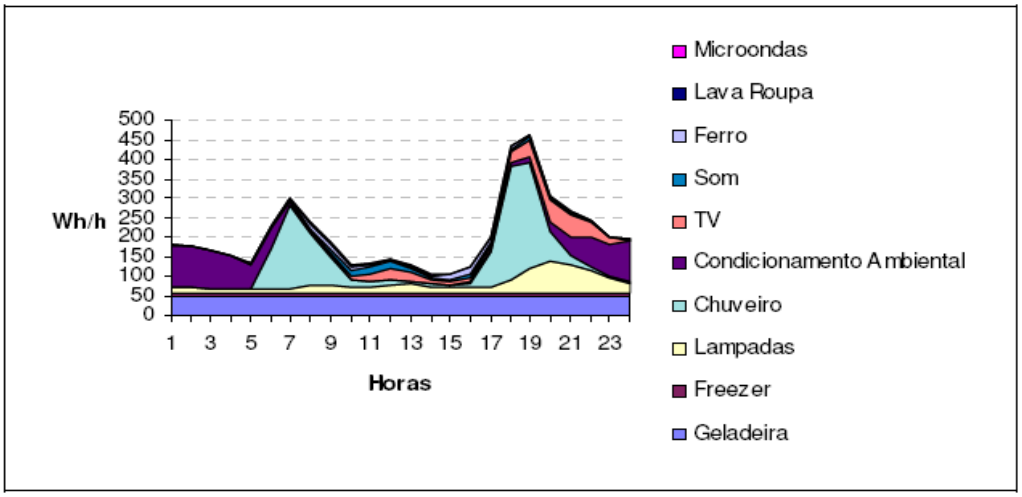


Figura 4 - Curva de carga residencial média diária - Centro Oeste
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

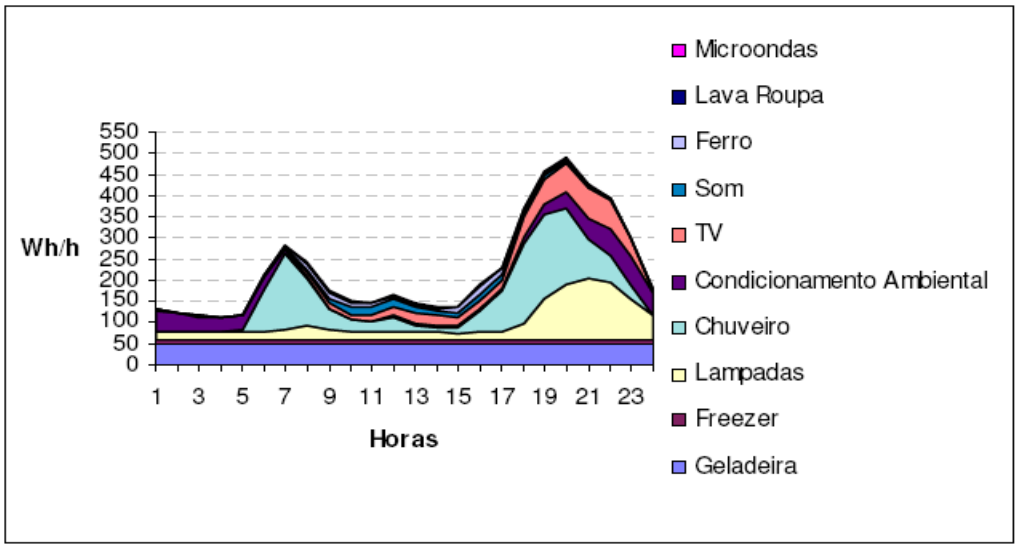


Figura 5 - Curva de carga residencial média diária - Sudeste
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

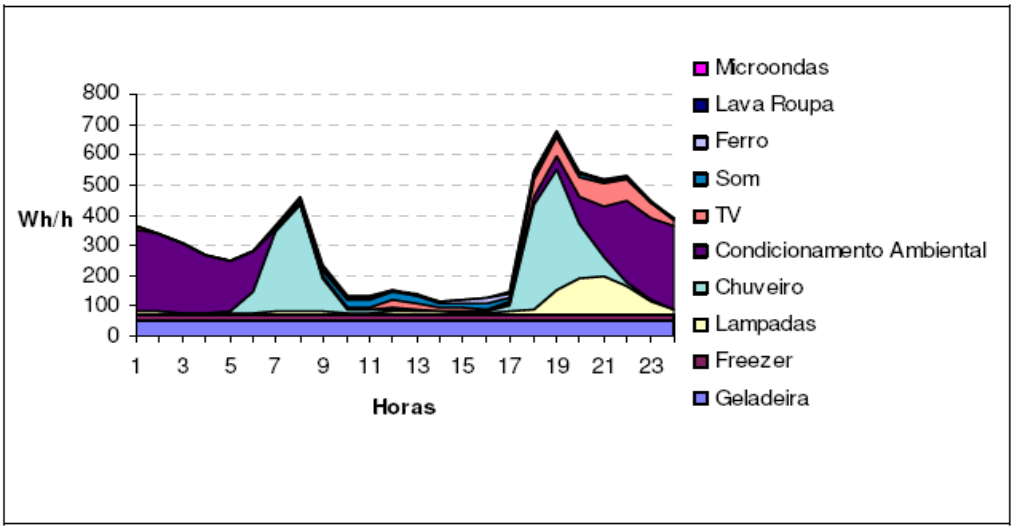


Figura 6 - Curva de carga residencial média diária - Sul
(Fonte: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Consumo – Eletrobrás/Procel, 2007)

Tais curvas representam, em nível de país e regiões, um consumidor hipotético, cujo significado pode ser interpretado de duas formas:

a) Refletem a divisão da curva de carga diária típica da classe residencial do país ou da região, respectivamente, pelo número de consumidores atendidos;
b) Refletem o consumo diário de energia elétrica de tal consumidor, considerando as frações dos equipamentos possuídos e expandidos para o universo de consumidores, bem como os hábitos de uso, que foram distribuídos ao longo de um dia típico, conforme declaração obtida por amostragem.

O chuveiro elétrico apresenta participação diferenciada nas curvas de carga médias diárias nas diversas regiões do país. Apresenta participação insignificante na curva de carga residencial média diária da região Norte e modesta participação na curva de carga residencial média diária da região Nordeste. Entretanto, apresenta participação significativa nas curvas de carga residenciais médias diárias nas regiões Centro Oeste, Sudeste e Sul do país.

As curvas de carga residenciais médias diárias das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil apresentam aumento de demanda de potência no período entre 18 e 21 horas (horário de ponta), com pico de demanda em torno das 19 horas. 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 (Oliva, 1999). Segundo a Eletrobrás/Procel, o chuveiro elétrico é responsável por cerca de 60% da carga residencial do país nas horas de pico de consumo (www.eletrobras.com, 2009).

Os chuveiros elétricos são 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). Nos últimos anos, o problema se agravou devido ao contínuo aumento da potência dos chuveiros elétricos, tendo passado de aproximadamente 3 kW em média para a faixa de 4,4 a 6,5 kW (Oliva, 1999). Aquecedores elétricos de passagem chegam a ter até 10 kW. Atualmente, pode-se afirmar que o aquecimento de água para o banho humano é responsável por um dos grandes problemas energéticos que o Brasil enfrenta.

A utilização intensiva dos sistemas termossolares em substituição aos chuveiros elétricos, largamente utilizados no país, pode ser entendida como geração virtual de energia elétrica (Pereira et al., 2003). Os benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica e a significativa queda nos custos dos sistemas termossolares, verificada nos últimos anos, tornam a energia solar para aquecimento de água uma tendência a ser adotada em praticamente todas as camadas sociais (Fantinelli, J.T., 2006) e (Fantinelli et al., 2006). Entretanto, os elevados custos iniciais do sistema termossolar para aquecimento da água ainda continuam sendo um dos maiores obstáculos para o uso mais generalizado desta benigna tecnologia (Gillingham, 2009).

A crescente substituição da energia não renovável por energia renovável, através da agregação da energia solar térmica à edificação residencial, deverá ter impacto significativo na demanda no horário de ponta e no consumo de energia elétrica para a higiene e aquecimento de água para fins pessoais.

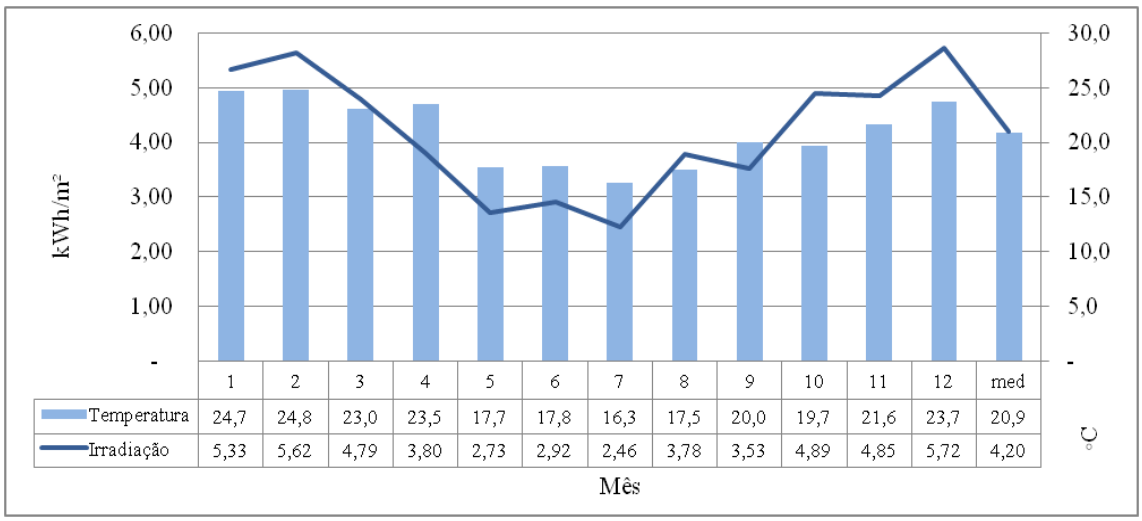
A posse da energia solar para fins de aquecimento de água para o banho deve ser incentivada pelo governo federal, pois além das razões anteriormente citadas, proporcionará a postergação de vultosos investimentos em novas usinas e em ampliações de sistemas de transmissão e de distribuição, além de contribuir para a redução do "efeito estufa" e com a preservação da natureza.

Visando contribuir com a identificação e maximização dos benefícios proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho, principalmente na habitação popular brasileira de baixa renda, este trabalho apresenta os resultados dos impactos proporcionados pela mesma sobre a demanda de potência ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água.

2. METODOLOGIA

A metodologia adotada visa avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica sobre a demanda de potência ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho, através da medição da demanda e da energia elétrica consumida por um grupo estatisticamente representativo de sistemas de aquecimento solar monitorados. Como exemplo, serão utilizados dados de demanda de energia elétrica, de arrendatários do Condomínio Residencial Solar Buona Vitta, localizado no bairro de Canasvieiras, Florianópolis/SC, Brasil, coletados, durante o ano de 2004, através do projeto executado pelo LABSOLAR/ NCTS do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina proposto ao P&D da Celesc, ciclo 2001-2002 (Relatório Final P&D LABSOLAR/ NCTS ao P&D da Celesc, 2004).

Para o período analisado, a Fig. 7 apresenta a evolução mensal da irradiação solar média diária no plano horizontal e da temperatura média diária, registradas em Canasvieiras, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	med
Temperatura	24,7	24,8	23,0	23,5	17,7	17,8	16,3	17,5	20,0	19,7	21,6	23,7	20,9
Irradiação	5,33	5,62	4,79	3,80	2,73	2,92	2,46	3,78	3,53	4,89	4,85	5,72	4,20

Figura 7 – Evolução mensal da irradiação solar média diária e temperatura média diária
(Fonte: Naspolini et. al., 2008)

Os dados mostram valor mínimo de irradiação solar média diária de 2,46 kWh/m2 em julho (inverno), valor máximo de 5,72 kWh/m2 em dezembro (verão), valor médio diário de 4,20 kWh/m2 e irradiação solar média anual incidente sobre o plano horizontal de 1.536,53 kWh/m2. Os registros de temperatura mostram valor mínimo de 16,33 ◦C em julho (inverno), máximo de 24,81 ◦C em fevereiro (verão) e temperatura média de 20,87 ◦C. A variabilidade intersazonal dos dados, observada tanto na radiação solar incidente no plano horizontal quanto nas temperaturas médias registradas no período analisado, pode ser justificada por condições de latitude, longitude, relevo, vegetação e clima a que a cidade de Florianópolis, Santa Catarina está submetida.

O Edifício Residencial Solar Buona Vitta, localizado no bairro de Canasvieiras, Florianópolis, Santa Catarina, é caracterizado como um conjunto habitacional popular de médio/grande porte, constituído por 25 blocos de apartamentos, arrendado pela Caixa Econômica Federal do Brasil às famílias classificadas na classe social: média renda (renda familiar média de aproximadamente 5 salários mínimos). Cada bloco é composto por 8 apartamentos idênticos, totalizando no conjunto habitacional 200 unidades residenciais. Cada apartamento possui área útil de aproximadamente 45 m2.

Através do critério de classificação intitulado “Desvio de Comportamento Ideal - DCI”, baseado no modelo proposto por Vine et al (1986), foram selecionadas 90 unidades consumidoras que apresentaram o menor DCI para compor as amostras a serem submetidas à aplicação das metodologias de medição e verificação da demanda e da energia elétrica consumida pelo grupo estatisticamente representativo dos sistemas de aquecimento monitorados, instalados nas moradias do núcleo habitacional popular (Relatório Final P&D LABSOLAR/NCTS ao P&D da Celesc, 2004) .

A amostra das 90 famílias selecionadas é classificada na classe social: média renda, com renda familiar média de aproximadamente 5 salários mínimos. O domicílio integrante da classe amostral selecionada para este estudo é generalizado por um padrão de 3 pessoas (2 adultos e 1 criança) por habitação de 2 quartos, sala, cozinha e banheiro. Para a classe amostral selecionada, a duração média do banho é de 5,15 minutos e sua freqüência média diária é de 0,98 banhos/pessoa (Naspolini et al., 2010).

Os sistemas de aquecimento solar monitorados funcionam com termossifão e são constituídos por uma cobertura de vidro com área de placa de aproximadamente 1,4 m^2 e reservatório térmico com capacidade de 100 litros (www.solares-online.com.br, 2009). Maiores informações sobre estes sistemas podem ser obtidos em Salazar et al (2003), Colle et al (2003), Salazar (2004), Salazar et al (2004), Abreu et al (2004), Colle et al (2004) e Salazar et al.(2005). O aquecedor auxiliar, parte integrante do sistema, foi desativado. Neste projeto, o aquecimento auxiliar da água a ser usada no banho foi proporcionado pelo chuveiro elétrico com potência variável.

A metodologia de medição e verificação da demanda e da energia elétrica consumida pelo grupo estatisticamente representativo dos sistemas de aquecimento solar monitorados, instalados nas moradias integrantes do núcleo habitacional popular, consistiu na medição para cada intervalo de 5 minutos, de dados de demanda ativa, de demanda reativa, tensão de operação e do fator de potência dos chuveiros elétricos dos arrendatários do Edifício Residencial Solar Buona Vitta, localizado no Bairro de Canasvieiras, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

A definição de demanda ativa, reativa e aparente, adotada neste trabalho, consiste na média das potências ativa, reativa e aparente, solicitadas ao sistema elétrico pela parcela da carga instalada em operação (para aquecer a água para o banho) na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado de 5 minutos.

Visando comparar os desempenhos dos grupos, classificados pela posse da utilização da energia para fins de aquecimento da água para o banho, o grupo total de 90 consumidores foi dividido em dois subgrupos, um com 60 consumidores com sistemas de aquecimento solares instalados (energia solar assistida por energia elétrica) e um segundo grupo composto de 30 consumidores, que teve o suprimento de água quente para o banho, totalmente fornecido

por chuveiros elétricos (energia elétrica). O segundo grupo foi utilizado como referência para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho sobre a demanda de potência ativa, reativa e aparente, no horário de ponta.

Para registrar os valores individuais medidos das variáveis (demanda de potência ativa, demanda de potência reativa, tensão de operação e fator de potência), em intervalos de 5 minutos, foi instalado, no quadro de distribuição de cada unidade consumidora selecionada como parte integrante deste projeto, um medidor digital de energia elétrica (ELO 2113) conectado em série com o circuito do chuveiro elétrico. Estes equipamentos de medição possuem memória de massa e dispõem de capacidade de armazenamento de dados, em intervalos de tempo de 5 minutos, por um período de 37 dias consecutivos (Relatório Final P&D LABSOLAR/NCTS ao P&D da Celesc, 2004). .

Todos os chuveiros elétricos utilizados são do tipo "potência ajustável", marca Botega, modelo Thermo System, tensão de operação 220 V, com ajuste de potência manual até 6,8 kW. O ajuste de temperatura deste aparelho é realizado por um gradador com controle de fase (por ângulo de disparo) que alimenta a resistência de aquecimento do chuveiro. Esta técnica de controle de temperatura confere ao chuveiro elétrico simplicidade, robustez e um grande número de possibilidades de ajuste da potência ativa, permitindo ao banhista um jato de água à vazão e temperatura desejadas.

Os valores individuais medidos das variáveis (demanda de potência ativa, demanda de potência reativa, tensão de operação e fator de potência), em intervalos de 5 minutos, foram registrados por medidores de energia, em 12 meses consecutivos durante o ano de 2004.

Para avaliar os impactos proporcionados pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho sobre a demanda de potência ativa, reativa e aparente solicitadas do sistema elétrico, no ano de 2004, para ambos os grupos classificados pela posse da energia, através dos valores mensurados, em intervalos de cinco minutos, das demandas de potência ativa e reativa individuais foram obtidas as curvas mensais de demanda de potência ativa, reativa e aparente solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água, em intervalos de 5 minutos. Adicionalmente, foram identificados e comparados mensalmente seus valores máximos ocorridos no horário de ponta.

Para ambos os grupos classificados pela posse da energia para fins de aquecimento da água para o banho, as curvas mensais de demanda de potência ativa, reativa e aparente obtidas representam uma unidade consumidora hipotética, cujo significado pode ser interpretado de duas formas: representam a divisão das respectivas curvas de demanda de potência (ativa, reativa e aparente) mensais pelo número de consumidores atendidos ou, ainda, refletem os consumos mensais de energia elétrica (ativa e reativa) 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, que foram distribuídos ao longo dos meses típicos, conforme medições obtidas por amostragem.

O horário de ponta adotado neste trabalho coincide com o utilizado pela Celesc - Centrais Elétricas de Santa Catarina, empresa concessionária da distribuição de energia elétrica no Estado de Santa Catarina, para a cidade de Florianópolis e 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, 2008).

A Eq. (1) apresenta a redução mensal da demanda de potência ativa no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos.

$$RDP = P_E^{MAX} - P_{S+E}^{MAX} \tag{1}$$

Onde:

RDP - Redução mensal da demanda de potência ativa no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalo de 5 minutos, expressa em kW;

P_E^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda de potência ativa no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalo de 5 minutos, 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 demanda de potência ativa no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalo de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho fornecido pela energia solar + elétrica, expressa em kW.

Para o período analisado (ano de 2004), a redução da demanda de potência ativa no horário de ponta/unidade consumidora – RDP pode ser obtida pela diferença entre a máxima demanda de potência ativa/unidade consumidora, no horário de ponta, proporcionada pela posse da energia elétrica e a máxima demanda de potência ativa /unidade consumidora, no horário de ponta, proporcionada pela posse da energia solar assistida por energia elétrica para o aquecimento de água para o banho, para cada intervalo de 5 minutos.

A Eq. (2) apresenta a redução mensal da demanda de potência reativa no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos.

$$RQP = Q_E^{MAX} - Q_{S+E}^{MAX} \tag{2}$$

Onde:

RQP - Redução mensal da demanda de potência reativa no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, expressa em kvar;

Q_E^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda de potência reativa no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido pela energia elétrica, expressa em kvar;

Q_{S+E}^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda de potência reativa no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho fornecido pela energia solar + elétrica, expressa em kvar.

Para o período analisado (ano de 2004), a redução da demanda de potência reativa no horário de ponta/unidade consumidora – RQP pode ser obtida pela diferença entre a máxima demanda de potência reativa/unidade consumidora, no horário de ponta, proporcionada pela posse da energia elétrica e a máxima demanda de potência reativa /unidade consumidora, no horário de ponta, proporcionada pela posse da energia solar assistida por energia elétrica para o aquecimento de água para o banho, para cada intervalo de 5 minutos.

A Eq. (3) apresenta a redução mensal da demanda de potência aparente no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos.

$$RSP = S_E^{MAX} - S_{S+E}^{MAX} \tag{3}$$

Onde:

RSP - Redução mensal da demanda de potência aparente no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, expressa em kVA;

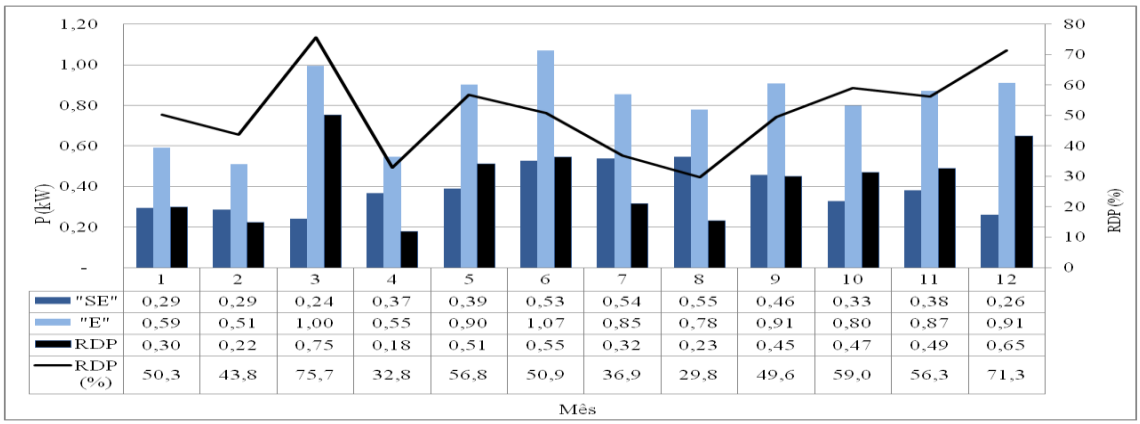
S_E^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda de potência aparente (módulo) no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho totalmente fornecido pela energia elétrica, expressa em kVA;

S_{S+E}^{MAX} - Valor máximo mensal da demanda de potência aparente (módulo) no horário de ponta/unidade consumidora, em intervalos de 5 minutos, causado pelo suprimento de água quente para o banho fornecido pela energia solar + elétrica, expressa em kVA.

Para o período analisado (ano de 2004), a redução da demanda de potência aparente no horário de ponta/unidade consumidora – RSP pode ser obtida pela diferença entre a máxima demanda de potência aparente/unidade consumidora, no horário de ponta, proporcionada pela posse da energia elétrica e a máxima demanda de potência aparente /unidade consumidora, no horário de ponta, proporcionada pela posse da energia solar assistida por energia elétrica para o aquecimento de água para o banho, para cada intervalo de 5 minutos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o período analisado, a Fig. 8 apresenta, por grupo classificado pela posse da energia para fins de aquecimento da água para o banho, em intervalos de 5 minutos, a evolução mensal dos valores máximos da demanda de potência ativa e a redução da demanda de potência ativa, no horário de ponta.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
"SE"	0,29	0,29	0,24	0,37	0,39	0,53	0,54	0,55	0,46	0,33	0,38	0,26
"E"	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	0,30	0,22	0,75	0,18	0,51	0,55	0,32	0,23	0,45	0,47	0,49	0,65
RDP (%)	50,3	43,8	75,7	32,8	56,8	50,9	36,9	29,8	49,6	59,0	56,3	71,3

Figura 8 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda de potência ativa e redução da demanda de potência ativa no horário de ponta

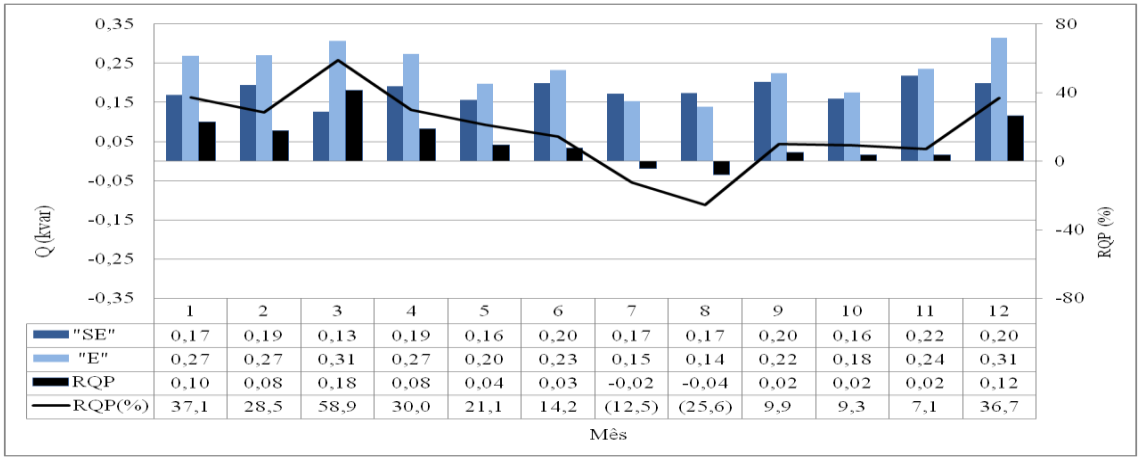
Os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou redução significativa da demanda de potência ativa no horário de ponta, em todos os meses.

Os resultados mostram ainda, que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou a menor redução percentual da demanda de potência ativa/unidade consumidora, no horário de ponta, no mês de agosto (29,8%), mês de menor incidência de irradiação solar média diária sobre o plano horizontal (3,78 kWh/m2) e temperatura média diária de 17,51◦C e a maior redução da demanda de potência ativa/unidade consumidora, no horário de ponta, em dezembro (71,3%), mês de maior irradiação solar média diária sobre o plano horizontal (5,72 kWh/m2) 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 de potência ativa, em intervalos de 5 minutos, no horário de ponta, de 0,52 KVA/unidade consumidora (48,95%).

Para o período analisado, a Fig. 9 apresenta, por grupo classificado pela posse da energia para fins de aquecimento da água para o banho, em intervalos de 5 minutos, a evolução mensal dos valores máximos da demanda de potência reativa e a redução da demanda de potência reativa, no horário de ponta.

Análises do comportamento de chuveiros elétricos, com controle eletrônico de temperatura por controle de fase (por ângulo de disparo), com mesma especificação técnica dos utilizados nesta pesquisa, realizadas por Moraes & Perin (2000) e por Oliveira & Kassick (2009), comprovam que estes equipamentos apresentam baixo fator de potência e amplo conteúdo harmônico na forma de onda da corrente elétrica, com especial destaque para a terceira harmônica, resultando em elevadas taxas de distorção harmônica da corrente, que se intensificam com o aumento do ângulo de disparo dos triacs.

Especial atenção deve ser dada à terceira harmônica, pois a mesma contribui fortemente para aumentar a degradação da qualidade da energia e para aumentar o "carregamento" do sistema elétrico (as componentes da terceira harmônica, ou seja, correntes de seqüencia zero, são somadas no neutro, percorrem o sistema à montante da carga, contribuindo desta forma para aumentar a corrente nas linhas e equipamentos integrantes dos sistemas elétricos).



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
"SE"	0,17	0,19	0,13	0,19	0,16	0,20	0,17	0,17	0,20	0,16	0,22	0,20
"E"	0,27	0,27	0,31	0,27	0,20	0,23	0,15	0,14	0,22	0,18	0,24	0,31
RQP	0,10	0,08	0,18	0,08	0,04	0,03	-0,02	-0,04	0,02	0,02	0,02	0,12
RQP(%)	37,1	28,5	58,9	30,0	21,1	14,2	(12,5)	(25,6)	9,9	9,3	7,1	36,7

Figura 9 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda de potência reativa e redução da demanda de potência reativa no horário de ponta

As características indesejáveis acima relacionadas (baixo fator de potência e amplo conteúdo harmônico na forma de onda de corrente) se apresentam refletidas nas elevadas demandas de potência reativa solicitadas ao sistema elétrico para aquecer a água para o banho, por ambos os grupos classificados pela posse da energia, conforme mostra a Fig. 9.

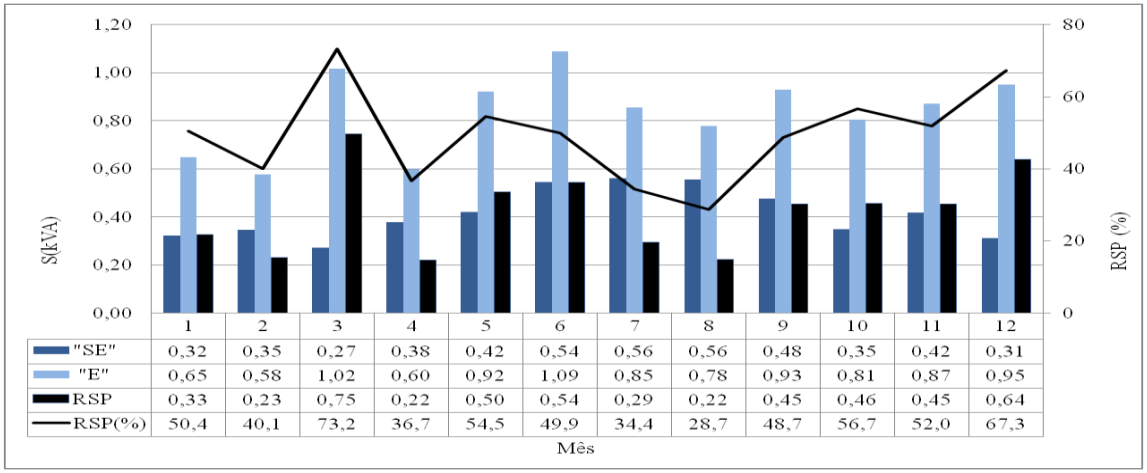
Apesar das limitações inerentes à tecnologia do chuveiro elétrico com controle eletrônico de temperatura por controle de fase (por ângulo de disparo) utilizado nesta pesquisa, os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou redução dos valores máximos da demanda de potência reativa, no horário de ponta, em todos os meses do ano, exceto nos meses de julho e agosto de 2004. Foram observadas, em julho, reduções negativas de 0.02 kvar (12%) e em agosto, de 0,04 kvar (25%). As reduções negativas da demanda de potência reativa observadas nos meses de julho e agosto (meses em que foram registradas as mais baixas temperaturas) podem ser explicadas pela diminuição da elevada potência ativa de operação do chuveiro eletrônico (P > 3.500W) proporcionada pela agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho.

Embora tenham sido registradas reduções negativas da demanda de potência reativa em julho e agosto, a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou redução da demanda de potência reativa, em intervalos de 5 minutos, no horário de ponta de 0,09 kvar/unidade consumidora (29,03%), no ano de 2004.

Para o período analisado, a Fig. 10 apresenta, por grupo classificado pela posse da energia para fins de aquecimento da água para o banho, em intervalos de 5 minutos, a evolução mensal dos valores máximos da demanda de potência aparente e a redução da demanda de potência aparente, no horário de ponta.

Os resultados mostram que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou redução da demanda de potência aparente, no horário de ponta, em todos os meses de 2004. No ano de 2004, a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho proporcionou a significativa redução

da demanda de potência aparente, em intervalos de 5 minutos, no horário de ponta, de 0,53 KVA/unidade consumidora (48,62%).



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
"SE"	0,32	0,35	0,27	0,38	0,42	0,54	0,56	0,56	0,48	0,35	0,42	0,31
"E"	0,65	0,58	1,02	0,60	0,92	1,09	0,85	0,78	0,93	0,81	0,87	0,95
RSP	0,33	0,23	0,75	0,22	0,50	0,54	0,29	0,22	0,45	0,46	0,45	0,64
RSP(%)	50,4	40,1	73,2	36,7	54,5	49,9	34,4	28,7	48,7	56,7	52,0	67,3

Figura 10 - Evolução mensal dos valores máximos da demanda de potência aparente e redução da demanda de potência aparente no horário de ponta

O elevado valor percentual da redução da demanda de potência aparente observado mostra que a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho contribui de forma significativa para reduzir o carregamento e as perdas elétricas nas linhas e nos equipamentos dos sistemas de transmissão/distribuição de energia elétrica, contribuindo assim, para postergar ou evitar elevados investimentos na expansão de tais sistemas.

4. CONCLUSÃO

Atualmente o aquecimento da água para o banho nos domicílios brasileiros é predominantemente realizado por aquecedores elétricos instantâneos, intitulados “chuveiros elétricos”. Embora muito populares no país, os chuveiros elétricos não passaram por nenhuma grande evolução nas últimas décadas. A maioria dos modelos de chuveiros elétricos comercializados é constituída por um simples interruptor com possibilidade de três ou quatro posições para a seleção da potência elétrica a ser utilizada para aquecer a água. Nestes modelos, o usuário regula a temperatura da água basicamente pelo aumento ou diminuição de sua vazão. Entretanto, devido às baixas temperaturas, esta solução se mostra inadequada para aquecer a água para o banho em regiões localizadas no sul do país.

O chuveiro elétrico com controle eletrônico de temperatura por controle de fase está se tornando muito popular no Brasil. Tem despontado como solução para combater o desperdício de água e de energia elétrica, por apresentar como diferencial o ajuste manual da potência elétrica, o que lhe confere mais possibilidades de ajuste, permitindo ao banhista um jato de água na vazão e temperatura desejadas. Entretanto, tais equipamentos apresentam características indesejáveis, tais como, baixo fator de potência e amplo conteúdo harmônico na forma de onda da corrente elétrica, contribuindo fortemente para aumentar a degradação da qualidade da energia e para aumentar o “carregamento” das linhas e nos equipamentos integrantes dos sistemas elétricos.

O baixo fator de potência e as elevadas taxas de distorção harmônica da corrente são características de todos os gradadores que empregam a técnica de controle por fase para o ajuste da temperatura do chuveiro. Entretanto, os elevados valores de corrente e conseqüentemente de potência ativa com que estes e outros chuveiros elétricos similares operam, tornam o baixo fator de potência e as harmônicas de corrente entregues à rede elétrica um problema a ser resolvido.

As características indesejáveis dos chuveiros elétricos com ajuste de temperatura por controle de fase anteriormente elencadas, podem ser minimizadas ou até mesmo eliminadas através de filtros de harmônicas, adequadamente projetados e instalados, ou pelo desenvolvimento de novas topologias de chuveiros elétricos com ajuste de temperatura, que permitam que este equipamento opere com elevado fator de potência (preferencialmente unitário) e baixa distorção harmônica de corrente (preferencialmente nula).

Prescrições normativas mais rígidas para a fabricação destes equipamentos impulsionariam o desenvolvimento de novas topologias para o ajuste de temperatura do chuveiro elétrico, contribuindo assim, para desenvolver e aperfeiçoar as tecnologias do chuveiro eletrônico com ajuste de temperatura.

Este trabalho mostra que, apesar das características indesejáveis da tecnologia adotada para o ajuste de temperatura do chuveiro elétrico por controle de fase, a agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho, no ano de 2004, proporcionou redução de demanda ativa no horário de ponta – RDP, em intervalos de 5 minutos, de 0,52 kW/unidade consumidora (48,95%), redução de demanda reativa – RQP, no horário de ponta, em intervalos de 5 minutos, de 0,09 kvar/unidade consumidora (29,03%) e redução da demanda aparente no horário de ponta – RSP, em intervalos de 5 minutos, de 0,53 KVA /unidade consumidora (48,62%). O elevado valor percentual

encontrado para a redução da demanda de potência aparente solicitada à rede elétrica para aquecer a água, no horário de ponta, mostra que a agregação da energia solar térmica ao banho contribui de forma significativa para reduzir o carregamento e as perdas elétricas nas linhas e nos equipamentos dos sistemas de transmissão/distribuição de energia elétrica, permitindo postergar ou evitar elevados investimentos na expansão de tais sistemas.

Sob a perspectiva das empresas concessionárias de energia elétrica, o uso do chuveiro elétrico, principalmente pelo consumidor de baixa renda, legalmente amparado por tarifas subsidiadas, é completamente inadequado. Especialmente no horário de ponta, quando o sistema elétrico apresenta restrições de potência, os kW e kWh da eletricidade subsidiada que a concessionária de energia elétrica disponibiliza para o consumidor de baixa renda podem ser oferecidos para outras classes consumidoras, por preço bem superior.

A agregação da energia solar térmica ao aquecimento da água para o banho em substituição total ou parcial aos chuveiros elétricos, largamente utilizados no país, pode ser entendida como uma geração virtual de energia elétrica, que permite às concessionárias de energia elétrica postergar ou evitar vultosos investimentos na expansão de seus sistemas de transmissão e de distribuição, possibilita melhor administração da carga do sistema, melhora sua confiabilidade, proporciona maior garantia de atendimento ao mercado consumidor, além de reduzir suas perdas técnicas e comerciais.

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 Vitta, utilizados como exemplo neste trabalho. Agradecem ainda, a Herbert Sancho Garcez Militão, engenheiro eletricista, a Cleysson Pértille, acadêmico do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UFSC e a Ernesto de Freitas Júnior, acadêmico do Curso de Graduação de Engenharia de Produção Elétrica, 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, Freiburg, Germany, pp. 1832-1840.

Almeida, M.A., Schaeffer, 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.

Carlo, J., Lamberts, R., 2008. Development of envelope efficiency labels for commercial buildings: Effect of different variables on electricity consumption. Energy and Buildings 40, pp. 2002-2008.

Celesc Distribuição. Horário de Ponta. Disponível em www.celesc.com.br. Consulta em março de 2008.

Colle,S., Abreu,S.L., Ruther, R., 2001. Uncertainty in Economical Analysis of Solar Water Heating and Photovoltaic Systems. Solar Energy 70, pp. 131-142.

Colle,S., Abreu, S.L., Glitz, K., Colle, F., 2001. Optimization of the auxiliary heating and water storage insulation of a low cost domestic hot water heating system with an electric shower. Proceedings of ISES , Solar World Congress, Adelaide, Austrália, Sayman W.Y. and Charters W.W.S, Australian and New Zeland Solar Energy Society, Adelaide, pp 993-1001.

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 VII Iberoamericano de Energia Solar, Vigo, Spain, pp 29-33.

Desenvolvimento e Validação Experimental de Ferramental Digital para Racionalização do Uso de Energia de Chuveiros Elétricos de Consumidores de Baixa Renda por Agregação da Energia Termosolar no Estado de Santa Catarina, 2004. Relatório Final do projeto executado pelo LABSOLAR/ NCTS do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC ao P&D da Celesc - Centrais Elétricas de Santa Catarina, ciclo 2001-2002.

Eletrobras/Procel. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005, Classe Residencial – Relatório Brasil, Julho de 2007. Disponível em www.procelinfo.com.br. Consulta em outubro de 2009.

Fantinelli, J. T., 2006. Análise da evolução de ações na difusão do aquecimento solar de água para habitações populares: Estudo de Caso em Contagem – MG. Campinas: FEM, UNICAMPI, 2006. Tese, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campinas.

Fantinelli, J. T.; Pereira, J. T. V.; Pereira, E. M. D., 2006. As Ações para o Incentivo ao Uso de Sistemas Termossolares na Habitação Brasileira de Interesse Social. Proceedings of V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - CBPE, Brasília, Brasil, pp. 1-13.

Geller, H., Jannuzzi, G.M., Schaeffer, R., Tolmasquin, M.T, 2002. The efficient use of electricity in Brazil: Progress and opportunities". Energy Police, pp. 859-872.

Gillingham, K., 2009. Economic efficiency of solar hot water policy in New Zealand. Energy Policy 37, pp. 3336-3347.

Goldemberg, J., Coelho, S.T., Lucon, O. L., 2004. How adequate policies can push renewables. Energy Policy 32, pp.1141-1146.

Naspolini, H.F., Militão, H.S.G., Cordini, J., Rüther, R., 2008. Avaliação do potencial da agregação da energia solar térmica para fins de aquecimento da água para o banho humano em núcleos habitacionais de baixa renda. Proceedings of II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES. Florianópolis, Brasil, pp.745-754.

Naspolini, H.F., Militão, H.S.G., Rüther, R., 2009. The role and the benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil. Energy Conversion and Management 51, Issue 12 de dezembro de 2010, pp. 2835-2845.

Moraes, P. M. S. D, Perin, A.J., 2000. Controle eletrônico de temperatura de chuveiros elétricos. Relatório Final do Programa PBIC. Projeto INEP 40.559 – Instituto de Eletrônica de Potência da UFSC. Florianópolis, Brasil.

Oliva, G.A., 1999. Utilização de Aquecedores Solares de Baixo Custo em Programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda-GLD. Proceedings of XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, pp. 1825-1832.

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.

Pereira, E.B., Martins, F.R., Abreu, S.L., Ruther, R., 2006. Atlas Brasileiro de Energia Solar. São José dos Campos: INPE (2006) ISBN 9788517000300.

Prado, R.T.A, Gonsalvez, O.M., 1998. Water heating through electric shower and energy demand. Energy and Buildings, Vol 29, pp 77-82.

Rosa, L.P., Lomardo, L. L. B., 2004. The Brazilian energy crisis and a study to support building efficiency legislation. Energy and Buildings 36, pp. 89-95.

Salamoni, I. T., 2009. Um programa residencial de telhados solares para o Brasil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica. Tese. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

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. Procedings of ISES-International Solar Energy Society. Solar World Congress, Gotemburgo, Suécia, pp.1048-1057.

Salazar, J.P.L.C., 2004. Economia de Energia e Redução do Pico da Curva de Demanda para Consumidores de Baixa Renda por Agregação de Energia Solar Térmica. Dissertação de Mestrado. UFSC, EMC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Salazar, J.P.L.C., Abreu, S.L., Borges, T.F.P., Colle, S., Reguse, W., 2004. Otimização de um sistema de aquecimento solar compacto para população de baixa renda com restrições de custo e de demanda. Proceedings of Congresso de Ar Condicionado e Ventilação do MERCOSUL – MERCOFRIO 2004, Curitiba, Paraná, Brasil, pp.524-533.

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.

Solares. Produtos. Disponível em: www.solares-online.com.br. Consulta em 2009.

Souza Ramos, M. O., Vital Brazil, O.A., 2006. Apropriação de energia térmica solar pela população de baixa renda no Brasil. Proceedings of V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - V CBPE, Brasília, Brasil, pp. 1-12.

Sowmy, D. S., Prado, R. T. A., 2008. Assessment of energy efficiency in electric storage water heaters. Energy and Buildings 40, pp. 2128-2008.

Vine, E., Diamond, R., Szydlowski, R., 1987. Domestic hot water consuption in four low-income apartament. Energy 12, pp. 459-467.

Abstract

This study aims to assess the impacts provided by aggregation of solar thermal energy to heat water for bathing on the active, reactive and apparent power demand to be supplied by the distribution utility, through the use of methodologies to measure the demand and electricity consumed by a group statistically representative of solar heating systems monitored, installed in low-income households of the residential building Solar Buona Vitta, in Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. For the period analyzed, the results show that aggregation of solar thermal energy to heat water for bathing provides significant reductions in the active, reactive and apparent power demands on the distribution utility.

Keywords: Solar water heating; energy quality; demand side management; active, reactive and apparent power demand; distribution utility.