

## POTENCIAL DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PELA UTILIZAÇÃO DE AQUECEDORES SOLARES NO ESTADO DE GOIÁS

LUIZ F. C. DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, REGIS DE C. FERREIRA<sup>1</sup>, ROGÉRIO DE A. ALMEIDA<sup>1</sup>, ENGLER J. V. LOBATO<sup>2</sup>, ANTÔNIO M. DE M. MEDEIROS<sup>3</sup>

**RESUMO:** O presente trabalho analisa a viabilidade técnica da redução do uso de energia elétrica pela substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares e apresenta uma análise da redução do custo mensal de energia elétrica para os diferentes municípios de Goiás. Por meio do processamento de dados climatológicos e com o auxílio do aplicativo de informações geográficas SPRING<sup>®</sup>, foram calculados os valores de irradiâncias ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ anual}^{-1}$ ) e do número de horas anuais de brilho solar sobre a superfície da Terra e no topo da atmosfera, respectivamente, para os municípios do Estado de Goiás. Com base em dados censitários, calcularam-se o consumo médio de energia elétrica mensal por domicílio ( $\text{kWh mês}^{-1}$ ) e o total anual ( $\text{kWh ano}^{-1}$ ). Analisou-se a redução do custo mensal de energia elétrica por domicílio pela substituição de chuveiros elétricos com diferentes potências comerciais por aquecedores solares. Analisaram-se, ainda, a redução da vazão que passa na turbina ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) da principal usina hidrelétrica de Goiás e a relação entre a redução da potência total anual (kW) e a potência gerada por essa usina (kW). Procedeu-se, finalmente, à análise econômica, avaliando-se a relação custo/benefício da substituição proposta. Os resultados mostraram redução média mensal da conta de energia de R\$ 36,92 e média de 13 meses para o retorno do capital investido. Pôde-se concluir pela viabilidade técnica, econômica e ambiental da substituição dos chuveiros elétricos pelos sistemas aquecedores/reservatórios térmicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** energia elétrica, energia solar, eficiência energética.

## REDUCTION POTENTIAL ON ELECTRIC POWER CONSUMPTION USING SOLAR HEATERS AT STATE OF GOIÁS, BRAZIL

**ABSTRACT:** A technical viability analysis on reduction of the electric power consumption by the substitution of electric showers by the adoption of solar heaters and analysis of monthly savings costs for the municipalities of State of Goiás (Brazil) were performed. Using processing of local weather data, aided by the geographical information applicative SPRING, irradiancy values ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ year}^{-1}$ ) and the number of annual hours of solar shine on earth surface and on the top of the atmosphere, were calculated. Based on census data, the average monthly electric power consumption per household ( $\text{kWh month}^{-1}$ ) and the total one per year ( $\text{kWh year}^{-1}$ ), and the reduction on the monthly cost per household were estimated. Analyzed is also the reduction of flow that passes in turbine ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) from the main hydroelectric power plant of State of Goiás and on the relationship between the total annual power (kW) and that one generated by same plant (kW) were predicted. At last, economic analysis of the results for the proposed substitution showed an average monthly diminution of about R\$ 36.92 (US\$ 17.00) on the energy bill, per household and an average term of 13 months for the return of the invested capital. One concluded by the technical, economical and environmental viability for the substitution of electric showers by thermal heaters/reservoirs systems.

**KEYWORDS:** electric power, solar energy, energy efficiency.

<sup>1</sup> Prof. Adjunto, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás - UFG, Goiânia - GO, Ifco@agro.ufg.br

<sup>2</sup> Prof. Assistente, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia - GO.

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Eletricista, pós-graduando, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, UFG, Goiânia - GO.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 30-10-2006

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 8-9-2008

## INTRODUÇÃO

A geração da energia elétrica nas usinas hidrelétricas depende do ciclo hidrológico e daqueles cuja fonte de energia para os respectivos ciclos é advinda do Sol. Segundo VIANELLO & ALVES (2000), a atmosfera terrestre é uma imensa máquina térmica, cuja principal fonte de calor é a energia solar. Essencialmente, essa máquina converte energia térmica em energia mecânica, com baixo rendimento; apenas 2% da energia solar recebida são convertidos em energia mecânica, dando origem à circulação geral da atmosfera, isto é, aos ventos, às nuvens, às chuvas, às tempestades, etc. Em menor escala, há ainda a geração de energia elétrica em unidades que utilizam o movimento das marés para o acionamento das turbinas, que, por sua vez, dependem dos movimentos rotacionais da terra, do aquecimento diferencial das águas do oceano e da atmosfera, todos dependentes do Sol.

Segundo VIDAL & VASCONCELOS (2002), no Brasil, pouco se cogita sobre os elevados potenciais naturais com extraordinária incidência solar. O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol.

O Brasil demonstra grande potencial de uso para o aquecimento solar, e sua utilização em maior escala representará benefício para diversos setores da sociedade, sem falar nas vantagens refletidas para o meio ambiente. O aproveitamento solar pode retardar investimentos para construção de usinas para a produção de eletricidade, evitando, assim, os impactos ambientais que tais empreendimentos provocam. O setor residencial responde por 24% do consumo total de energia elétrica no País e, dentro desse setor, tem-se participação média de 26% do consumo total atribuído ao aquecimento de água, participação inferior somente à da refrigeração. Portanto, conclui-se facilmente que apenas o aquecimento de água para banho em residências brasileiras é responsável por mais de 6,0% de todo o consumo nacional de energia elétrica.

Resultados de trabalhos de pesquisa (MATAJS, 1997) que incluíram medições e levantamentos de dados por questionários, que a Universidade de São Paulo (USP) realizou em conjunto com a ELETROPAULO, no setor residencial, demonstraram que os chuveiros elétricos provocam aumento de potência média instalada de 121%, ou seja, a potência do chuveiro ultrapassa a soma de todos os outros eletrodomésticos juntos. Demonstra, ainda, que a inclusão do chuveiro elétrico eleva a demanda máxima média em 365%, ou seja, no momento em que é utilizado o chuveiro elétrico, a demanda sobe para mais de 4,5 vezes o consumo médio. A substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar traduz-se em economia, em médio prazo, principalmente para o usuário final, pois exige baixíssima manutenção e possui vida útil, em média, superior a quinze anos, proporciona economia na conta de energia elétrica e recupera o investimento num período de três a cinco anos.

O presente trabalho analisa a potencialidade, a viabilidade técnica da redução do uso de energia elétrica pela substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares e apresenta uma análise da redução do custo mensal de energia elétrica para os diferentes municípios do Estado de Goiás. Apresenta, ainda, a provável redução na vazão que passa na turbina da usina hidrelétrica de Cachoeira Dourada pela substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares.

## MATERIAL E MÉTODOS

A radiação solar, ao atravessar a atmosfera, interage com a mesma, e parte dessa radiação é espalhada nas outras direções, além daquela de incidência. A parcela da energia radiante que incide no topo da atmosfera, e que chega à superfície da Terra, é chamada de radiação direta, e de irradiância a densidade de fluxo de radiação incidente sobre uma superfície (VIANELLO & ALVES, 2000). Dentre as diversas expressões empíricas apresentadas na literatura para a estimativa da irradiância solar global no nível do solo, a mais usual é dada pela eq.(1):

$$R_g = R_o \left( a + b \frac{n}{N} \right) \quad (1)$$

em que,

$R_g$  - irradiância solar global diária sobre uma superfície horizontal, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$R_o$  - irradiância solar global diária no topo da atmosfera, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

a e b - coeficientes de ajuste local, obtidos pelo método dos mínimos quadrados;

n - número de horas de brilho solar observado no dia, e

N - número de horas de brilho solar possível de ocorrer no dia.

Os valores de “ $R_o$ ” e “ $N$ ” são encontrados (VIANELLO & ALVES, 2000) em função da latitude local (Tabelas 1 e 2) e “ $n$ ” é medido localmente com auxílio de um heliógrafo (Figura 1), aparelho que concentra os raios solares em um ponto específico por meio de uma esfera de vidro. Com a trajetória diária do Sol, a concentração da luz solar queima uma fita especial, permitindo, dessa forma, a identificação do número de horas de brilho solar. O equipamento deve estar posicionado com uma inclinação em relação à trajetória diária do Sol de um ângulo igual ao da latitude local.

Segundo VIANELLO & ALVES (2000), os valores dos coeficientes “a” e “b” podem assumir os seguintes valores:  $a = \cos \varphi$  e  $b = 0,52$ , em que,  $\varphi$  é a latitude. LOBATO et al. (1982) ajustaram os coeficientes “a” e “b” com base nas observações diárias do número de horas de brilho solar e da irradiância solar global diária para a microrregião do Mato Grosso Goiano, obtendo os valores de 0,27 e 0,49, respectivamente, valores empregados no presente estudo.

TABELA 1. Irradiância solar global diária no topo da atmosfera em MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, em função da latitude sul e do mês do ano. **Daily global solar irradiance on top of atmosphere in MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, based on South latitude and month of the year.**

Latitude	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.
10°	39,61	39,34	37,68	34,50	31,08	29,19	29,87	32,68	35,98	38,34	39,27	39,43
11°	39,86	39,44	37,57	34,20	30,65	28,70	29,41	32,32	35,79	38,36	39,47	39,73
12°	40,11	39,54	37,46	33,90	30,22	28,22	28,95	31,96	35,60	38,37	39,67	40,02
13°	40,37	39,63	37,36	33,59	29,78	27,73	28,49	31,61	35,41	38,39	39,88	40,32
14°	40,62	39,73	37,25	33,29	29,35	27,25	28,03	31,25	35,22	38,40	40,08	40,61
15°	40,87	39,83	37,14	32,99	28,92	26,76	27,57	30,89	35,03	38,42	40,28	40,91
16°	41,07	40,03	37,34	33,19	29,12	26,96	27,77	31,09	35,23	38,62	40,48	41,11
17°	41,27	40,23	37,54	33,39	29,32	27,16	27,97	31,29	35,43	38,82	40,68	41,31
18°	41,46	40,42	37,73	33,58	29,51	27,35	28,16	31,48	35,62	39,01	40,87	41,50
19°	41,66	40,62	37,93	33,78	29,71	27,55	28,36	31,68	35,82	39,21	41,07	41,70
20°	41,86	40,03	36,31	31,24	26,58	24,18	25,10	28,88	33,81	38,21	41,01	41,14

Fonte: VIANELLO & ALVES (2000).

TABELA 2. Número de horas diárias de brilho solar no topo da atmosfera, em função da latitude sul, local e mês do ano. **Number of daily hours of solar shine on top of atmosphere, based on South latitude, locale and month of the year.**

Latitude	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.
10°	12,50	12,30	12,10	11,80	11,50	11,40	11,50	11,70	11,90	12,20	12,60	12,70
11°	12,55	12,35	12,10	11,75	11,45	11,35	11,45	11,65	11,90	12,25	12,65	12,75
12°	12,60	12,40	12,10	11,70	11,40	11,30	11,40	11,60	11,90	12,30	12,70	12,80
13°	12,65	12,45	12,10	11,70	11,40	11,25	11,30	11,55	11,90	12,30	12,75	12,85
14°	12,70	12,50	12,10	11,70	11,40	11,20	11,20	11,50	11,90	12,30	12,80	12,90
15°	12,80	12,50	12,10	11,65	11,35	11,15	11,15	11,50	11,90	12,35	12,85	13,00
16°	12,90	12,50	12,10	11,60	11,30	11,10	11,10	11,50	11,90	12,40	12,90	13,10
17°	12,95	12,55	12,10	11,60	11,25	11,00	11,05	11,45	11,90	12,40	12,95	13,15
18°	13,00	12,60	12,10	11,60	11,20	10,90	11,00	11,40	11,90	12,40	13,00	13,20
19°	13,05	12,65	12,10	11,55	11,15	10,85	10,95	11,35	11,90	12,45	13,05	13,25
20°	13,10	12,70	12,10	11,50	11,10	10,80	10,90	11,30	11,90	12,50	13,10	13,30

Fonte: VIANELLO & ALVES (2000).



FIGURA 1. Heliógrafo da estação climatológica da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da UFG. **Heliograph of climatologic station of School of Agronomy and Food Engineering from UFG, Brazil.**

Empregando o mapa temático do número total anual de horas de brilho solar, gerado para o Estado de Goiás por LOBATO et al. (2002), com base nas normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, relativo à série histórica de 1961 a 1990 (Figura 2), calculou-se o valor médio ponderado do número total anual de horas de brilho solar, empregando a eq.(2):

$$n_{\text{anual}} = \frac{\sum_{i=1}^{nc} (n_i A_i)}{\sum_{i=1}^{nc} (A_i)} \quad (2)$$

em que,

$n_{\text{anual}}$  - média ponderada do número total anual de horas de brilho solar para Goiás;

$n_i$  - número total anual de horas de brilho solar para a classe de ordem “i”;

$A_i$  - área entre as isoélias de ordem “i” e “i + 1”, e

$nc$  - número de classes.

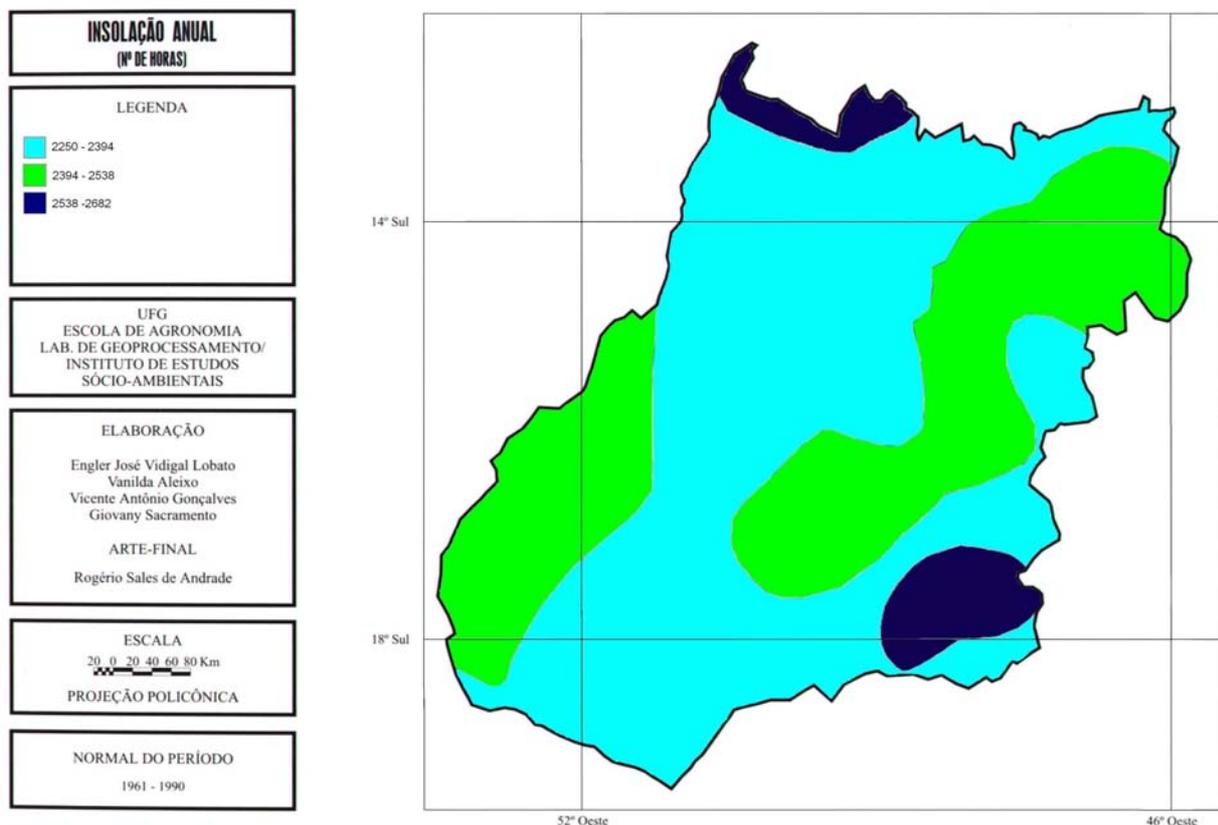


FIGURA 2. Mapa temático da insolação anual no Estado de Goiás (Fonte: LOBATO et al., 2002). **Theme map of annual insolation on the State of Goiás (Source: LOBATO et al., 2002).**

Utilizando o aplicativo de informações geográficas SPRING<sup>®</sup> e o mapa apresentado na Figura 2, obtiveram-se, para cada município de Goiás, os valores de “n”. Com o auxílio das Tabelas 1 e 2 e da eq.(1), foram obtidos valores da irradiância solar global diária, para todos os municípios de Goiás, o que permitiu a análise do potencial de aproveitamento da luz solar para o aquecimento de água.

Com base nos dados do último censo do IBGE do ano de 2000, nos quais constam o número de habitantes e domicílios por município e o número de domicílios com banheiro, foi analisado o potencial de redução de energia elétrica média por domicílio pela substituição dos chuveiros elétricos por aquecedores solares, para chuveiros comerciais com potência variando de 2,5 a 6,5 kW.

O consumo médio de energia elétrica mensal por domicílio foi obtido pela eq.(3), e o total anual pela eq.(4). No emprego dessas equações, considerou-se o tempo médio de banho por pessoa, de 15 minutos, e coincidência do pico de utilização dos chuveiros elétricos, pois o presente trabalho teve como objetivo a análise da economia de energia elétrica pela substituição de chuveiros elétricos por aquecedores solares.

$$\text{Consumo (kWh mês}^{-1}\text{)} = \frac{\text{total de habitante/município}}{\text{número de domicílios com banheiro}} \frac{t_b}{60} P_c \text{ número de dias do mês} \quad (3)$$

$$\text{Consumo (kWh anual}^{-1}\text{)} = 12 \text{ Consumo (kWh mês}^{-1}\text{)} \quad (4)$$

em que,

$t_b$  - tempo de banho por pessoa, minutos, e  
 $P_c$  - potência do chuveiro elétrico, kW.

Com base nos últimos dados censitários, o número médio de habitantes por domicílio em Goiás é de 4,0, portanto serão necessários sistemas aquecedor solar/reservatório térmico com capacidade de 200 litros, considerando o consumo médio de 50 litros por habitante. Tomando-se o valor do sistema aquecedor solar/reservatório térmico de fabricação da Soletrol de R\$ 1.743,60 (SOLETROL, 2005), da tarifa de energia elétrica praticada pela Companhia Energética de Goiás (CELG) para o consumidor residencial categoria B1, incluído o ICMS de R\$ 0,3094 kWh<sup>-1</sup> (CELG, 2005) e da taxa básica de juros da economia, taxa Selic, de 19,50% ao ano, fez-se uma análise econômica.

Na análise econômica, foi utilizada a metodologia da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005), implementada no *software* “Estimativa de economia em sistemas de irrigação por pivô central”, desenvolvido por MEDEIROS (2005), avaliando-se a relação custo/benefício da substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar (eqs. (5), (6), (7) e (8)).

$$\text{RCB} = \frac{\text{CTA}}{\text{Y}} \quad (5)$$

$$\text{CTA} = \text{CF FRC} \quad (6)$$

$$\text{FRC} = \frac{j(1+j)^n}{(1+j)^n - 1} \quad (7)$$

$$\text{Y} = (\text{EE CE}) + (\text{RDP CP}) \quad (8)$$

em que,

RCB - relação custo/benefício;  
 CTA - custo total anualizado;  
 Y - benefícios;  
 CF - custo do equipamento aquecedor solar/reservatório térmico;

FRC - fator de recuperação de capital;  
 j - taxa de juros anuais;  
 n - vida útil do sistema aquecedor solar/reservatório térmico, considerado de 15 anos;  
 EE - energia economizada, kWh ano<sup>-1</sup>;  
 CE - custo da energia, R\$ kWh<sup>-1</sup>;  
 RDP - redução da demanda na ponta, kW, e  
 CP - custo da energia na ponta, R\$ kW<sup>-1</sup>.

Quando a RCB for menor que a unidade, a substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar torna-se economicamente viável. Na análise econômica, foi simulado o número de meses necessários para que a RCB ≤ 1,0, ou seja, o número de meses para recuperar o capital investido.

O Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), com o apoio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), possui o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que tem a finalidade de testar equipamentos que consomem ou economizam energia solar. Para melhor informar o consumidor da qualidade e eficiência de coletores solares e reservatórios térmicos, foram usadas a etiqueta INMETRO/PROCEL de eficiência energética e a análise de produção média mensal de Energia Solar. No caso de coletores solares, a letra "A" indica um produto mais eficiente e a letra "G" um produto pouco eficiente. Os produtos com classificação "A" recebem também o Selo Procel de economia de Energia Solar. As Tabelas 3 e 4 foram empregadas na seleção do conjunto aquecedor solar-reservatório térmico, seguindo a indicação do selo INMETRO/PROCEL.

TABELA 3. Classe do aquecedor solar segundo sua eficiência. **Solar heater class according to efficiency.**

Classes <sup>1</sup>	Potência Média Específica kWh mês <sup>-1</sup> (Pme)	Banho		Acoplado	
		Total	%	Total	%
A	Pme > 77,0	27,0	27,8	0,0	0,0
B	77,0 ≥ Pme > 71,0	28,0	28,8	1,0	25,0
C	71,0 ≥ Pme > 61,0	30,0	30,6	1,0	25,0
D	61,0 ≥ Pme > 51,0	9,0	9,2	2,0	50,0
E	51,0 ≥ Pme > 41,0	4,0	4,1	0,0	0,0
F	41,0 ≥ Pme > 31,0	0,0	0,0	0,0	0,0
G	Pme < 31,0	0,0	0,0	0,0	0,0

<sup>1</sup> Classes em ordem decrescente de eficiência. Fonte: INMETRO (2005).

Considerando algumas informações técnicas da usina hidrelétrica de Cachoeira Dourada, por ser uma das maiores fornecedoras de energia elétrica para a CELG, foram analisadas a redução de vazão turbinada com a potencial substituição dos chuveiros por aquecedores solares e a relação entre a redução da potência total anual no Estado de Goiás e a potência gerada pela usina de Cachoeira Dourada (eqs.(9) e (10)).

$$\Delta Q = 735 \frac{75 \eta \Delta P}{\gamma H} \quad (9)$$

em que,

$\Delta Q$  - redução na vazão turbinada, m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>;  
 $\eta$  - rendimento médio de turbinas hidráulicas: 0,75 (AZEVEDO NETO & ALVAREZ, 1977);  
 $\Delta P$  - redução potencial pela substituição dos chuveiros por aquecedores, W;  
 $\gamma$  - peso específico da água = 10.000 N m<sup>-3</sup>, e  
 H - altura da queda total da usina de Cachoeira Dourada = 19 m (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2005)

$$RP = \frac{\Delta P_G}{P_{CD}} \quad (10)$$

em que,

RP - relação entre a redução da potência total anual de Goiás ( $\Delta P_G$ ) em kW, e a potência gerada pela usina de Cachoeira Dourada ( $P_{CD}$ ) igual a 443 MW (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2005).

TABELA 4. Alguns modelos de coletores planos para aquecimento solar de água. **Some plane collector models for water solar heating.**

Modelo	Pressão (kPa)	Área do coletor (m <sup>2</sup> )	Potência Média Específica		Eficiência Energética Média (%)	Categoria	Material Absorvedor
			kWh mês <sup>-1</sup>	kWh mês <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>			
Master cobre	392	1,60	108,6	67,9	51,7	C	Cobre
Industrial plus	392	1,92	153,5	79,9	58,8	A	alumínio
Industrial plus horizontal	392	1,92	153,5	79,9	58,8	A	alumínio
Max alumínio 1,45	392	1,42	107,4	75,6	55,4	B	alumínio
Max alumínio 1,6	392	1,58	127,4	80,6	59,7	A	alumínio
Mini Max alumínio	392	1,02	68,8	67,5	53,8	C	alumínio
Max cobre	392	1,42	100,8	71,0	53,0	C	cobre
Mini cobre	392	1,03	73,0	70,9	50,3	C	cobre
Max alumínio 2,0	392	2,00	161,3	80,7	59,7	A	alumínio
Max cobre 1x2 horizontal	392	2,06	143,4	69,6	51,7	C	cobre
Max cobre 2x1 vertical	392	2,06	143,4	69,6	51,7	C	cobre

Fonte: SOLETROL (2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise do número total anual de brilho solar no Estado de Goiás (Figura 2), obtiveram-se as distribuições percentuais e médias ponderadas, cujos valores estão apresentados na Tabela 5. Observa-se que 46,65% da área de Goiás recebe anualmente entre 2.250 e 2.394 horas de brilho solar, sendo 15,41% com valor médio de 2.610 horas. A média do total anual de horas de brilho solar para todo o Estado foi de 2.421 horas, das 4.388,9 horas possíveis de ocorrência, segundo os valores integrados obtidos na Tabela 2, representando 55,2% do total que chega ao topo da atmosfera.

TABELA 5. Distribuição da área do Estado de Goiás para as classes do número total de horas de brilho solar anuais. **Distribution of the area in the State of Goiás for classes of annual total number of solar shine hours.**

Classe dos valores de N (horas)	Ponto Médio (horas)	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
2.250 - 2.394	2.322	158.685,19	46,65
2.394 - 2.538	2.466	129.048,61	37,94
2.538 - 2.682	2.610	52.431,20	15,41
Total		340.165,00	100,00
N <sub>anual</sub> (horas)		2.421	

Fonte: LOBATO et al. (2002).

Na Tabela 6, são apresentados os valores das irradiâncias sobre a superfície para os dez municípios mais populosos de Goiás, com valores médios de 6.965,40 MJ m<sup>-2</sup> anual<sup>-1</sup> e 44,79 kWh m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>.

Levando-se em consideração que os aquecedores solares classificados pelo INMETRO como classes econômicas (A, B e C), com eficiência média de 55,26%, a irradiância média mensal por m<sup>2</sup>

de área necessária deveria ser de  $41,0 \text{ kWh m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ . Esse valor é inferior ao analisado para Goiás, de  $44,79 \text{ kWh m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , mostrando, assim, a grande potencialidade da utilização do aquecedor solar em substituição ao chuveiro elétrico.

TABELA 6. Valores do número de horas anuais de brilho solar e irradiâncias sobre a superfície da Terra e no topo da atmosfera, respectivamente, para os dez municípios mais populosos de Goiás. **Solar shine amount of annual hours and irradiance values over the surface of Earth and on top of atmosphere, respectively, for the ten most populous municipalities of Goiás.**

Município	n horas anual <sup>-1</sup>	Ro MJ m <sup>-2</sup> anual <sup>-1</sup>	N horas anual <sup>-1</sup>	Rg MJ m <sup>-2</sup> anual <sup>-1</sup>	Rg kWh m <sup>-2</sup> mês <sup>-1</sup>
Anápolis	2.466,0	12.861,77	4.390,58	7.012,39	45,70
Aparecida de Goiânia	2.322,0	12.861,77	4.390,58	6.805,69	41,76
Caldas Novas	2.581,2	12.934,04	4.388,93	7.219,48	49,24
Catalão	2.523,6	13.006,31	4.388,05	7.176,91	47,86
Goiânia	2.322,0	12.861,77	4.390,58	6.805,69	41,76
Itumbiara	2.466,0	13.006,31	4.388,05	7.093,26	46,22
Jataí	2.444,4	12.934,04	4.388,93	7.021,94	45,36
Luziânia	2.365,2	12.861,77	4.390,58	6.867,70	42,92
Rio Verde	2.466,0	12.934,04	4.388,93	7.053,13	45,96
Trindade	2.322,0	12.861,77	4.390,58	6.805,69	41,76
Média	2.427,8	12.912,36	4.389,58	6.986,19	44,85

Na Tabela 7, é apresentada a análise da redução do custo mensal de energia elétrica por domicílio, com base nos dados do censo do ano de 2000, realizado pelo IBGE, nas potências comerciais de chuveiros elétricos empregados neste estudo e da tarifa praticada pela CELG, para os dez maiores municípios de Goiás.

Pode-se observar redução média mensal de R\$ 20,70; 24,84; 33,12; 41,44; 49,68 e 53,82 para as potências instaladas de chuveiros de 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 e 6,5 kW, respectivamente (Tabela 7).

TABELA 7. Redução do custo mensal de energia elétrica por domicílio para as diferentes potências comerciais de chuveiros elétricos para os dez municípios mais populosos de Goiás. **Decrease of monthly cost of electrical Power per residence for the different commercial potencies of electrical showers for the ten most populous municipalities of Goiás.**

Município	População	Número de Domicílios	% de Domicílios com Banheiro	Tempo de Banho/ Domicílio (h dia <sup>-1</sup> )	Redução do Custo Mensal de Energia Elétrica/Domicílio (R\$ mês <sup>-1</sup> )					
					2,5 kW	3,0 kW	4,0 kW	5,0 kW	6,0 kW	6,5 kW
Anápolis	288.085	80.423	98,46	0,90	20,78	24,94	33,25	41,56	49,87	54,03
Aparecida de Goiânia	336.392	90.943	98,19	0,92	21,46	25,75	34,33	42,92	51,50	55,79
Caldas Novas	49.660	14.519	98,17	0,86	19,84	23,81	31,75	39,68	47,62	51,59
Catalão	64.347	18.754	96,96	0,86	19,90	23,89	31,85	39,81	47,77	51,75
Goiânia	1.093.007	313.708	99,38	0,87	20,21	24,25	32,34	40,42	48,51	52,55
Itumbiara	81.430	24.216	98,02	0,84	19,51	23,41	31,21	39,02	46,82	50,72
Jataí	75.451	21.395	97,55	0,88	20,46	24,55	32,73	40,92	49,10	53,19
Luziânia	141.082	35.832	97,01	0,98	22,84	27,41	36,55	45,68	54,82	59,39
Rio Verde	116.552	32.769	97,26	0,89	20,63	24,76	33,01	41,27	49,52	53,65
Trindade	81.457	22.134	97,95	0,92	21,35	25,62	34,16	42,70	51,24	55,51
Total	2.327.463	654.693								
Média			93,48	0,91	20,70	24,84	33,12	41,44	49,68	53,82

Considerando os potenciais total e médio de energia elétrica economizada pela substituição do chuveiro pelo aquecedor solar no Estado de Goiás, para as diferentes potências de chuveiro

empregadas neste estudo, foram obtidos os valores da redução de vazão turbinada na usina de Cachoeira Dourada (Tabela 8).

São observadas reduções de vazão variando entre 4.390,06 e 11.414,15 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, para potências de chuveiro de 2,5 a 6,5 kW, o que representa um ganho ambiental considerável na utilização do recurso água em outras atividades que não a geração de energia elétrica. Essa variação na redução da potência elétrica representa de 2,46 a 6,40 vezes a energia produzida pela usina de Cachoeira Dourada.

TABELA 8. Valores dos potenciais total ( $\Delta P$ ) e médio ( $\Delta \bar{P}$ ) de energia elétrica economizada, redução de vazão (Q) e relação da potência economizada pela gerada (RP), na usina de Cachoeira Dourada, pela substituição do chuveiro pelo aquecedor solar no Estado de Goiás, para as diferentes potências de chuveiro analisadas. **Mean ( $\Delta \bar{P}$ ) and Total ( $\Delta P$ ) potential values of electrical power saved, yield decrease (Q) and the relation between of potency saved by the one generated (RP), at power station Cachoeira Dourada, due to replacement of electrical shower by solar heater on the state of Goiás, for different shower potencies analyzed.**

	Potências dos Chuveiros (kW)					
	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	6,5
$\Delta P$ (kW)	1.089.905,00	1.307.886,00	1.743.848,00	2.179.810,00	2.615.772,00	2.833.753,00
$\Delta \bar{P}$ (kW)	19.226,27	23.071,52	30.762,03	38.452,53	46.143,04	49.988,29
Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	4.390,06	5.268,07	7.024,09	8.780,12	10.536,14	11.414,15
RP	2,46	2,95	3,94	4,92	5,90	6,40

Pelos resultados das simulações utilizando o *software* “Estimativa de economia em sistemas de irrigação por pivô central” (MEDEIROS, 2005), obteve-se o número de meses para a recuperação do capital investido pela substituição dos chuveiros elétricos pelo sistema aquecedor/reservatório térmico, para as diferentes potências de chuveiros comerciais (Tabela 9). Observa-se que, quanto menor a potência do chuveiro, maior o número de meses para a recuperação do investimento devido à menor redução no consumo de energia com a substituição dos chuveiros elétricos pelo sistema aquecedor/reservatório térmico. Em média, o número de meses para a recuperação do capital investido foi em torno de 13 meses para a relação custo/benefício de 0,96.

TABELA 9. Análise econômica da substituição de chuveiros elétricos de diferentes potências por aquecedores solares. **Economic analysis of electrical showers replacement from different potencies by solar heaters.**

Potências (kW)	Meses	Custo/Benefício
2,5	20,20	0,96
3,0	16,83	0,96
4,0	12,67	0,95
5,0	10,07	0,96
6,0	8,43	0,96
6,5	7,77	0,96
Média	12,66	0,96

Segundo a Secretaria de Planejamento do Estado de Goiás - SEPLAN, o Estado possui 8.321,6 e 337,6 megawatts de capacidade instalada de geração de energia hidrelétrica e termelétrica, respectivamente. Atualmente, são 59 empreendimentos em operação. Para os próximos anos, está prevista adição de 1.650,8 MW na capacidade de geração de energia elétrica do Estado, provenientes dos 12 empreendimentos atualmente em construção e mais 24 com sua outorga assinada (Tabela 10).

TABELA 10. Tipos de usinas em operação em Goiás. **Type of operating power stations in Goiás.**

Tipos de Usinas em Operação	Total	Potência (MW)
UHE - Usina Hidrelétrica		
PCH - Pequena Central Hidrelétrica	28	8.321,56
CGH - Central Geradora Hidrelétrica		
UTE (Usina Termelétrica de Energia)	31	337,33
Total instalada	59	8.658,89

Fonte: SEPLAN (2007)

A redução de consumo de energia elétrica em relação ao total de energia gerada instalada proveniente de fontes hídrica e térmica (Tabela 11) alcançou média de 22,66% para os diferentes tipos de chuveiro, considerando a simultaneidade de funcionamento dos mesmos.

TABELA 11. Valores do potencial total ( $\Delta P$ ) de energia elétrica economizada e relação da potência economizada pela geração total instalada com a substituição do chuveiro pelo aquecedor solar em Goiás, para as diferentes potências de chuveiro analisadas. **Total potential ( $\Delta P$ ) values of electrical power saved and the relation between potency saved by total generation installed with the replacement of the shower by solar heater in Goiás, for different shower potencies analyzed.**

	Potências dos Chuveiros (kW)					
	2,5	3	4	5	6	6,5
$\Delta P$ (kW)	1.089.905,00	1.307.886,00	1.743.848,00	2.179.810,00	2.615.772,00	2.833.753,00
Potencia total instalada	8.658.890,00	8.658.890,00	8.658.890,00	8.658.890,00	8.658.890,00	8.658.890,00
Redução (%)	12,59	15,10	20,14	25,17	30,21	32,73

Outra análise feita foi considerando a possibilidade de não-simultaneidade de funcionamento desses equipamentos, utilizando um fator de demanda de 10% sobre o total de chuveiros no Estado de Goiás (CELG, 2001). Foi calculada a redução do consumo de energia considerando o fator de demanda, em relação à potência total instalada em Goiás. Nesse caso, os valores de redução no consumo de energia elétrica tiveram média de 2,3% para os diferentes tipos de chuveiro (Tabela 12).

TABELA 12. Valores do potencial total ( $\Delta P$ ) de energia elétrica economizada e relação da potência economizada com fator de demanda pela geração total instalada com a substituição do chuveiro pelo aquecedor solar no Estado de Goiás, para as diferentes potências de chuveiro analisadas, considerando a não-simultaneidade de funcionamento dos equipamentos. **Total potential ( $\Delta P$ ) values of electrical power saved and the relation between potency saved with demand factor by the total generation installed with the replacement of the shower by solar heater in Goiás, for different shower potencies analyzed, considering the non-simultaneity of the equipment's functioning.**

	Potências dos Chuveiros (kW) com Fator de Demanda FD = 10%					
	2,5	3	4	5	6	6,5
$\Delta P$ (kW)	108.990,50	130.788,60	174.384,80	217.981,00	261.577,20	283.375,30
Potencia total instalada	8.658.890,00	8.658.890,00	8.658.890,00	8.658.890,00	8.658.890,00	8.658.890,00
Redução (%)	1,26	1,51	2,01	2,52	3,02	3,27

## CONCLUSÕES

Pelas análises realizadas, pôde-se concluir sobre a viabilidade econômica, técnica e ambiental da substituição dos chuveiros elétricos pelos sistemas aquecedores/reservatórios térmicos solares.

Apesar de os resultados assumirem que toda a população utilizaria simultaneamente o sistema elétrico no mesmo horário, essa premissa não descaracteriza as análises realizadas, haja vista o trabalho ter o objetivo de verificar a potencialidade de redução no consumo de energia.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Manual para elaboração do programa anual de combate ao desperdício de energia elétrica*. Disponível em: <<http://aneel.gov.br>>. Acesso em: 1 jan. 2005.
- AZEVEDO NETO, J.M.; ALVAREZ, G.A. *Manual de hidráulica*. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1977.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE GOIÁS - CELG. *Boletim de Tarifa Convencional - Nº 02/2004*. Disponível em: <[http://www.celg.com.br/Servicos\\_tarifas\\_convencional.jsp](http://www.celg.com.br/Servicos_tarifas_convencional.jsp)>. Acesso em: 15 set. 2005.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE GOIÁS - CELG. *NTD-04, Norma Técnica de Distribuição, Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição - Revisão 2*. 2001. Disponível em: <[http://www.celg.com.br/Dadostecnicos\\_Normas.jsp](http://www.celg.com.br/Dadostecnicos_Normas.jsp)>. Acesso em: 3 fev. 2005).
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. *Regulamento específico para uso da etiqueta nacional de conservação de energia: sistemas e equipamentos para aquecimento solar de água*. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/SistemasSolarPBE\\_rev07](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/SistemasSolarPBE_rev07)>. Acesso em: 8 set. 2006.
- LOBATO, E.J.V.; SACRAMENTO, G.L.; ANDRADE, R.S.; ALEIXO, V.; GONÇALVES, V.A. *Atlas climatológico do Estado de Goiás*. Goiânia: Editora da UFG. 2002.
- LOBATO, O.J.S.M.; LOBATO, E.J.V.; GONÇALVES, V.A. Contribuição ao estudo da radiação global e da insolação na microrregião do Mato Grosso de Goiás. *Anais da Escola de Agronomia e Veterinária*, Goiânia, v.12, n.1, p.55-75, 1982.
- MATAJS, R.R. *Demanda, consumo e custo das alternativas ao chuveiro elétrico no Estado de São Paulo*. 1997. 156 f. Dissertação (Mestrado em Interunidades em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- MEDEIROS, A.M.M. *Potencial de economia de energia elétrica em sistemas de irrigação a pivô central com o uso de inversor de frequência no Estado de Goiás*. 2005. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás. 2005.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Secretaria Executiva. *Informações detalhadas sobre o Rio Paranaíba*. Disponível em: <<http://www.transporte.gov.br/bit/hidro/detrioparanaiba.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2005).
- SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DO ESTADO DE GOIÁS - SEPLAN. Disponível em: [http://www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/GoDados/2007/dados/07-03-Energia\\_Eletrica.htm](http://www.seplan.go.gov.br/sepin/pub/GoDados/2007/dados/07-03-Energia_Eletrica.htm). Acesso em: 3 mar. 2008.
- SOLETROL. *Aquecedores solares compactos*. Disponível em: <<http://shop.soletrol.com.br/serviços>>. Acesso em: 15 set. 2005.
- VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: Editora da UFV. 2000. 448 p.
- VIDAL, J.W.B.; VASCONCELLOS, G.F. *Dialética dos trópicos*. Brasília: Instituto do Sol, 2002. 183 p.