

# Aproveitamento térmico de energia solar em substituição à queima de óleo combustível no aquecimento de água em piscinas

Flávio Dias Mayer<sup>1</sup>

Guilherme Cremonese<sup>2</sup>

Roger Gallon<sup>2</sup>

Seimur Tiago Serafini<sup>2</sup>

Ronaldo Hoffmann<sup>3</sup>

Ademar Michels<sup>4</sup>

## Resumo

No presente estudo, analisou-se a viabilidade econômica e quantificou-se a mitigação de poluentes pelo uso de coletores solares de baixo custo em substituição parcial à queima de óleo combustível pela caldeira, nas piscinas do Centro de Educação Física da Universidade Federal de Santa Maria. O investimento necessário é de R\$ 19.678,07, para a instalação de 217m<sup>2</sup> de área coletora, obtendo-se uma economia de 14.940kg de óleo combustível, o que representa 27% do consumo anual, implicando reduções nas emissões em 46.742,38kgCO<sub>2equivalente</sub>/ano de Gases de Efeito Estufa (GEE) e 430kg/ano de outros poluentes (outros gases e material particulado). Os resultados suportam a viabilidade econômica do projeto e comprovam a redução das emissões de poluentes.

**Palavras-chave:** energia solar, viabilidade econômica, aquecimento global.

## Abstract

This study aims to evaluate the economical feasibility and to quantify the mitigation of pollutants through the use of low cost solar collectors in partial substitution to the combustible oil burned in a boiler, at swimming pools of the Physical Education Center – Federal University of Santa Maria. The necessary investment is R\$ 19.678,07 to install 217 m<sup>2</sup> of collecting area, making possible to save 14.940 kg of combustible oil, representing 27% of the total yearly consumption and a reduction of 46.742,38 kgCO<sub>2equivalent</sub>/yearly of Greenhouse Gases and 430 kg/yearly of other pollutants. The results point out to the economical viability of this project and confirm the reduction of pollutant emission.

**Keywords:** solar energy, economic feasibility, global warming.

## 1 Introdução

As pesquisas e avanços tecnológicos, como ali-cercas para o desenvolvimento de novos materiais e bens de consumo, têm permitido ao homem desfrutar de produtos e serviços que tornam a vida mais prática e confortável.

Esse desenvolvimento, fortemente evidenciado a partir da Revolução Industrial, deu início a um processo de transformações progressivas que vêm ocorrendo em diversas áreas da humanidade, principalmente na tecnológica e de meio ambiente, propiciadas pela utilização do carvão mineral e, posteriormente, pelos derivados de petróleo e pelo gás natural como fontes de energia.

Atualmente, os combustíveis fósseis ainda são as maiores fontes de energia para mover as máquinas e equipamentos usados pelo homem para proporcionar o conforto tão desejável. Entretanto, o elevado consumo deste tipo de energia, tanto pela queima direta do combustível quanto pela conversão deste em energia elétrica, tem causado grandes desequilíbrios ambientais, especialmente aumento da temperatura média global (IPCC, 2007), acarretando alterações climáticas que já ameaçam a existência de diversos ecossistemas terrestres.

<sup>1</sup> Engenheiro Químico. Aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). E-mail: flaviodmayer@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Alunos do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. E-mail: guilhermecomese@yahoo.com.br; roger\_gallon@hotmail.com; stserafini@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Professor Doutor do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. E-mail: hoffmann@ct.ufsm.br

<sup>4</sup> Professor Doutor do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. E-mail: michels@ct.ufsm.br

Além de produzir gases que intensificam o aquecimento global, a queima de combustíveis fósseis gera outros resíduos com impactos locais e regionais, como por exemplo, os óxidos de enxofre e nitrogênio ( $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}_x$ ) que podem reagir com o vapor d'água formando a chuva ácida (NOGUERA, 2003). Devido à sua composição, ácido sulfúrico e ácido nítrico, estas chuvas alteram as características químicas do solo, provocam a contaminação dos cursos de água e o envenenamento da fauna e flora, atingindo a cadeia alimentar, além de corroer metais, rochas e habitações humanas (SILVA, *et al.* 2005).

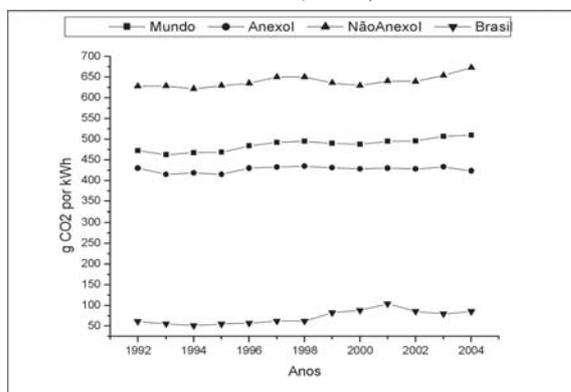
Desta forma, deve-se buscar a mudança da matriz energética mundial, através da utilização de fontes de energia renováveis. O aproveitamento da energia solar, tanto em sistemas fotovoltaicos quanto térmicos, apresenta-se como alternativa promissora para o enfrentamento dos desafios energéticos e minimização dos impactos em nosso meio ambiente.

Dentro desta perspectiva, este trabalho tem por objetivo analisar os aspectos econômicos e ambientais da implantação de um sistema de aquecimento solar de baixo custo em substituição parcial à utilização de óleo combustível como energético em piscinas térmicas.

## 2 Energia solar no aquecimento de água

Embora cientistas tenham advertido quanto às emissões de GEE e às consequências do aumento das concentrações destes (IPCC, 2007), ainda se percebe dependência muito grande dos combustíveis fósseis como fonte energética. O gráfico 1 apresenta os fatores de emissão de  $\text{CO}_2$  nos processos de geração de calor e eletricidade ( $\text{g CO}_2/\text{kWh}$ ).

Observa-se que os países em desenvolvimento (Não Anexo I) apresentam grande emissão de  $\text{CO}_2$  por unidade de energia produzida, o que indica matriz energética predominantemente fóssil e/ou baixa eficiência na geração de eletricidade e calor. No Brasil, pode-se constatar que a quantidade de  $\text{CO}_2$  por kWh é pouco representativa em comparação aos demais países, devido à grande participação (cerca de 45%) de fontes renováveis de energia em sua matriz energética (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2006).



Fonte: International Energy Agency (IEA), 2006.

Gráfico 1 – Emissões médias de  $\text{CO}_2$  por kWh de energia gerada, representando o mundo, o Brasil, os países que fazem parte do Anexo I e os que não fazem parte

Nesse contexto, o aproveitamento da energia solar térmica, através de instalações de pequeno, médio e grande porte, tem se mostrado como uma solução técnica e economicamente viável para substituir o uso de combustíveis fósseis no aquecimento de água, pois a energia solar é abundante, permanente e de custo zero (TOLMASQUIN, 2003), além do fato de os sistemas de conversão de energia solar em calor apresentarem alto rendimento (MICHELS, 2005).

### 2.1 Modelo do sistema de aquecimento

#### 2.1.1 Coletor solar de baixo custo

Coletores solares térmicos são equipamentos que absorvem energia solar convertendo-a em calor e transferindo este calor a um fluido em contato com ele. O fluido pode ser objeto final do aquecedor (água para uso de água quente, ar para calefação, etc.) ou um veículo para transportar o calor do coletor para um trocador de calor ou máquina que utiliza o mesmo (a própria água, óleo, etc.).

A conversão térmica pode ser classificada em função do nível de temperatura requerida, como: temperatura baixa ( $T < 100^\circ\text{C}$ ); temperatura média ( $100^\circ\text{C} < T < 200^\circ\text{C}$ ); temperatura alta ( $T > 200^\circ\text{C}$ ).

Além do aquecimento de água para uso direto, existem outras aplicações imediatas da geração de calor a baixa temperatura com energia solar para condicionamento ambiental, como aquecimento de água para interior de residências; ventilação de ambientes; estufas para criação de animais ou plantas; secagem de alimentos pela passagem de ar aquecido pela energia solar; desidratação de produtos industriais.

Os sistemas comerciais disponíveis para aquecimento de água necessitam de um grande investimento inicial, impossibilitando muitas aplicações como a substituição de chuveiros elétricos por parte da população de baixa renda ou utilização da energia solar em grande escala pelo setor secundário e terciário.

O coletor solar a que se refere este projeto apresenta-se como uma alternativa técnica e economicamente viável para suprir a demanda citada, pois além de apresentar um bom rendimento térmico é facilmente construído a partir de materiais de baixo custo encontrados em lojas de materiais de construção. O sistema de aquecimento solar está representado na figura 1.

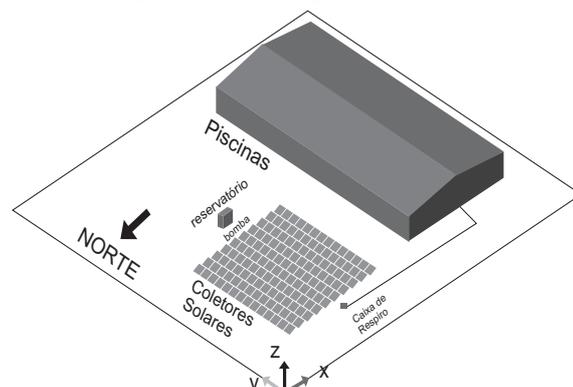


Figura 1 – Desenho ilustrativo da implantação dos coletores solares

### 2.1.2 Variáveis ambientais

Existem inúmeras variáveis ambientais, ou do espaço específico onde é desenvolvido o projeto, envolvidas no cálculo do aproveitamento da energia solar térmica, dentre elas: i) média mensal de irradiação solar diária, usada para calcular a eficiência térmica do coletor e a energia solar realmente útil; ii) temperatura da água, usada para determinar a carga térmica que o sistema deve atingir.

Em relação à média mensal de irradiação solar diária em uma superfície horizontal, deve-se observar que este parâmetro é determinado pela latitude e altitude da região em questão, além da época ou estação do ano. Os valores para a radiação solar incidente podem ser obtidos de atlas ou mapas de radiação solar ou de *softwares* específicos, sempre baseados em séries históricas de dados.

A radiação solar total incidente na superfície da Terra tem uma componente direta (procedente da direção do sol) e outra difusa (procedente de todo o céu). Em dias claros, sem nuvens, a componente direta é dominante, o contrário ocorrendo em dias nublados. O conhecimento da contribuição relativa de cada uma destas componentes é importante para se poder calcular a radiação incidente sobre superfícies inclinadas representadas pelos coletores em questão.

No hemisfério sul, a radiação incidente sobre superfícies adequadamente inclinadas na direção norte pode ser aumentada no inverno, porém com perdas durante o verão. Dessa forma, deve-se escolher o ângulo do plano inclinado do coletor que melhor satisfaça as necessidades energéticas.

Assim, no caso da substituição parcial de óleo combustível para aquecimento de água, deve-se determinar o ângulo do plano inclinado que resulte na maior incidência de radiação solar e, conseqüentemente, na maior quantidade possível de energia útil para todo o ano.

## 2.2 Modelo para cálculo de energia útil

### 2.2.1 Quantidade de calor teórico ( $Q_{teórico}$ )

A quantidade de calor que, teoricamente, é transferida para o coletor é função da radiação solar e da área total de coleta, dada pela equação 1, de acordo com Duffie e Beckman (1980).

$$Q_{teórico} = \left( \sum R_i \cdot x_i \right) A_t \quad \text{equação 1}$$

Em que:

$Q_{teórico}$ : quantidade de calor teórico que incide sobre os coletores no período especificado de um ano (kWh);

$R_i$ : radiação solar média incidente no plano inclinado (kWh/m<sup>2</sup>);

$A_t$ : área total dos coletores (m<sup>2</sup>);

$x_i$ : dia do ano, de funcionamento da caldeira, com a incidência de radiação  $R_i$ .

### 2.2.2 Rendimento do coletor solar

A eficiência dos equipamentos para conversão da energia solar em calor de baixa temperatura depende de uma série de condições meteorológicas e da temperatura do fluido no interior do equipamento. Desta forma, não se pode definir a eficiência (rendimento) como um número fixo independente destas variáveis para diferentes regiões.

De acordo com projeto piloto executado anteriormente (MICHELS, 2005), obteve-se um rendimento interno térmico médio para este tipo de coletor solar de 64,26%, e, dessa forma, será este o valor utilizado neste estudo.

### 2.2.3 Quantidade de Calor Útil ( $Q_{útil}$ )

De acordo com Ozisik (1973), a equação 2 determina o valor de  $Q_{útil}$ .

$$\eta = \frac{Q_{útil}}{Q_{teórico}} \quad \text{equação 2}$$

Em que:

$\eta$ : rendimento do coletor solar (adimensional);

$Q_{útil}$ : quantidade de calor realmente aproveitada (kWh);

$Q_{teórico}$ : quantidade de calor teórico que incide sobre o coletor (kWh).

### 2.2.4 Capacidade de aquecimento (M)

O valor de  $Q_{útil}$  determina a capacidade de aquecimento ou volume de água que pode ser aquecida de acordo com a equação 3, considerando uma diferença de temperatura entre a entrada (água fria) e saída (água quente). Então:

$$Q_{útil} = M \cdot C_p \cdot (T_s - T_E) \quad \text{equação 3}$$

Em que:

$M$ : quantidade de água a ser aquecida (kg);

$C_p$ : calor específico da água (kJ/kg.°C);

$T_s$ : temperatura de saída (água quente) (°C);

$T_E$ : temperatura de entrada (água fria) (°C).

Substituindo as equações (1) e (3) em (2), obtém-se o valor da massa de água que pode ser aquecida diariamente ( $M$ ), como mostrada na equação 4.

$$M = \frac{Q_{útil} \cdot \eta}{C_p \cdot (T_s - T_E)} \quad \text{equação 4}$$

### 2.3 Cálculo da economia de óleo combustível

É possível estimar a quantidade de óleo combustível que deixará de ser queimado pela caldeira ( $m_{óleo}$ ), através da equação 5.

$$m_{óleo} = \frac{Q_{útil}}{PCI \cdot \eta_{caldeira}} = \frac{V \cdot C_p \cdot (T_s - T_E)}{PCI \cdot \eta_{caldeira}} \quad \text{equação 5}$$

Em que:

$m_{óleo}$ : massa de óleo economizada pelo sistema de aquecimento solar (kg);

$PCI$ : poder Calorífico Inferior do combustível utilizado (kJ/kg);

$\eta_{caldeira}$ : rendimento da caldeira analisada (%).

#### 2.4 Cálculos da redução de emissões de poluentes

As emissões de gases poluentes podem ser calculadas através da metodologia desenvolvida pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), baseadas no fator de emissão de poluentes gerados pela queima do combustível analisado, conforme a equação 6.

$$\text{Emissões} = \sum FE_{ab} \cdot \text{Atividade}_{ab}$$

Em que:

Emissões: quantidade de poluentes emitidos para a atmosfera (kg/ano);

$FE_{ab}$ : fator de emissão (kg/10<sup>12</sup>J);

$\text{Atividade}_{ab}$ : energia que seria utilizada pelo queimador (10<sup>12</sup>J);

$a$ : tipo de combustível;

$b$ : setor-atividade.

##### 2.4.1 Fatores de emissão dos poluentes

A equação 7 descreve o cálculo do fator de emissão de SO<sub>2</sub>, considerando o teor de enxofre presente no combustível.

$$FE_{SO_2} = 2 \cdot \left( \frac{s}{100} \right) \cdot \frac{1}{Q} \cdot 10^6 \cdot \left( \frac{100-r}{100} \right) \cdot \left( \frac{100-n}{100} \right) \quad \text{equação 7}$$

Em que:

$FE_{SO_2}$ : Fator de emissão (kg/10<sup>12</sup>J);

$s$ : índice de enxofre no combustível (%);

$Q$ : quantidade de energia do combustível líquido (10<sup>12</sup>J/kg);

$r$ : retenção do enxofre na cinza (%);

$n$ : eficiência do equipamento de redução de emissão de poluentes (%).

Para se efetuarem os cálculos e determinar a quantidade de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) reduzida, deve-se considerar o fator de emissão do Carbono (C), a fração de carbono oxidado e a razão da massa molecular de CO<sub>2</sub> e C, conforme a equação 8. Então:

$$FE_{CO_2} = FE_C \cdot F_{CO} \cdot \left( \frac{nCO_2}{nC} \right) \quad \text{equação 8}$$

Em que:

$FE_{CO_2}$ : fator de emissão do dióxido de carbono (kg/10<sup>12</sup>J);

$FE_C$ : fator de emissão de Carbono (kg de Carbono/10<sup>12</sup>J);

$F_{CO}$ : fração de carbono oxidado;

$nCO_2$ : massa molecular de CO<sub>2</sub> (g/mol);

$nC$ : massa molecular de C (g/mol).

Os dados referentes aos fatores de emissão para o CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> (NO e NO<sub>2</sub>) e CO são fornecidos pelo IPCC para o tipo de óleo utilizado pelas caldeiras, cuja função de aquecimento será parcialmente substituída pelo sistema de aquecimento solar. Para o material particulado, o fator de emissão também foi retirado da literatura (CARVALHO, 2003).

A partir da metodologia apresentada, pode-se calcular a redução da emissão de poluentes, baseando-se nos valores atuais de emissão e nos valores de emissão após a implantação do projeto de aquecimento solar.

### 3 Resultados

Para calcular a área total útil de captação de energia solar que pode ser instalada em uma determinada área horizontal disponível, deve-se considerar: o ângulo ideal de inclinação dos coletores; a variação do ângulo de incidência da radiação solar direta e as dimensões dos coletores.

O ângulo de inclinação dos coletores é determinado após uma análise dos mapas de irradiação solar para que se obtenha a maior quantidade possível de energia captada.

Para isso fez-se uso do *software* Radiasol versão 1.1 (desenvolvido pelo GESTE – Grupo de Estudos Térmicos e Energéticos da UFRGS), informando as coordenadas geográficas de Santa Maria, cidade onde será instalado o sistema de aquecimento solar. De acordo com simulações realizadas, o melhor ângulo é o de 25°, para o qual se obtém um valor de energia total incidente igual a 911,24 KWh/m<sup>2</sup>.ano. Os valores médios de irradiação solar diária em cada mês são apresentados na tabela 1.

ÂNGULO DE INCLINAÇÃO 25°									
Mês	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov
TOTAL	4.996	4.416	3.638	2.864	3.290	3.804	4.368	5.720	6.364

Fonte: valores obtidos com o software Radiasol v.1.1.

Tabela 1 – Média da radiação solar diária mensal (Wh/m<sup>2</sup>.dia)

Devido à inclinação da órbita da Terra em torno do Sol, chamada obliquidade, o pior dia de insolação ocorre no solstício de inverno, quando os raios de sol incidem nos coletores com uma inclinação igual à soma da obliquidade (23,27°) e da latitude de Santa Maria (29,70°). Conhecendo-se este ângulo (52,97°) e as dimensões dos coletores, pode-se determinar a distância entre as linhas de coletores para que não causem sombra uns aos outros, obtendo 1,88 metros de distanciamento mínimo. Assim, considerando as dimensões do terreno disponível, podem ser instalados 140 coletores dispostos em 10 linhas de 14 unidades cada, totalizando uma área útil de 217m<sup>2</sup>.

Portanto, pela equação 1, utilizando-se os dados da tabela 1 e sabendo-se que  $x_i=201$  dias de funcionamento das piscinas, obtemos um  $Q_{teórico}$  igual a 197,74MWh.

Determinado o valor de  $Q_{teórico}$ , pode-se calcular o valor de  $Q_{útil}$ , utilizando o valor de  $\eta$  igual a 64,26%. Da equação 2 obtém-se  $Q_{útil}$  igual a 126,07MWh.

Estabelecendo-se  $T_s=36^\circ\text{C}$ ,  $T_e=29^\circ\text{C}$  e  $C_p=4,18$  kJ/kg.°C, o valor encontrado para M, pela equação 4, é de  $15,51 \cdot 10^6$  Kg de água.

A quantidade de combustível economizada é calculada pela equação 5, utilizando o valor de  $Q_{útil}$ , já encontrado e considerando  $PCI= 40.755$ kJ/kg (GARCIA, 2003);  $\eta_{caldeira} = 0,75$ .

Portanto,  $m_{oleo} = 14.940$ kg.

#### 3.1 Aspectos econômicos

A partir da estimativa de uma economia de 14.940kg de óleo e sabendo-se que o custo do óleo combustível (BTE) em questão é de aproximadamente R\$0,98/kg, pode-se calcular a viabilidade econômica do projeto. Sendo o investimento inicial de R\$ 19.680

e estimando-se a vida útil destes em 5 anos, o *payback* ou tempo de retorno de capital é de aproximadamente 1 ano e 8 meses e o Valor Presente Líquido (VAL) é R\$18.400.

### 3.2 Aspectos ambientais

Para se determinar a redução das emissões de poluentes, faz-se necessário, inicialmente calcular, utilizando dados tabelados, os valores dos  $FE_{ab}$  e o valor de *Atividade<sub>ab</sub>*. Este último é encontrado pela multiplicação da quantidade de  $m_{\text{óleo}}$  pelo PCI do combustível.

Para quantificar a emissão de  $SO_2$ , utilizou-se o valor de 1% de teor de enxofre, sabendo-se que o combustível utilizado pelas caldeiras é do Tipo B (Baixo Teor de Enxofre), sendo este o valor de “s”. Além disso, assumiu-se desprezível os valores de “r” e “n”, pelo fato de as caldeiras não apresentarem sistema de abatimento de material particulado.

No caso do  $CO_2$ , o valor de fração de carbono oxidado (0,99) e o fator de emissão de carbono (21,1tC/1012J) são tabelados pelo IPCC (HOUGHTON, *et al.* 1996), e as massas molares dos componentes são 44g/mol para o  $CO_2$  e 12g/mol para o carbono (C).

Na determinação dos GEE reduzidos por este projeto, as emissões de  $CH_4$  e  $N_2O$  devem ser transformadas em  $CO_2$  equivalente ( $CO_{2\text{equiv}}$ ), através da multiplicação da emissão destes gases pelo respectivo Poder de Efeito Estufa (PEE), que é a capacidade que um determinado composto tem em contribuir para o efeito estufa (CLIMATE CHANGE, 1995). Estes valores são relativos ao  $CO_2$ , cujo PEE estabelecido é igual a 1. Os resultados são encontrados na tabela 2.

Poluente	Fator de emissão (kg/TJ) <sup>a</sup>	Emissão (kg/ano) <sup>b</sup>	Redução da emissão (kg/ano) <sup>b</sup>	Poder de Efeito Estufa <sup>a</sup>	Redução de GEE (kg $CO_2$ equiv/ano) <sup>b</sup>
$CH_4$	3	6,72	1,83	21	38,37
$N_2O$	0,3	0,67	0,18	310	56,64
$CO_2$	76.593	171.685,12	46.647,37	1	46.647,37
CO	15	33,62	9,14	-	-
Material particulado	29,21	65,48	17,79	-	-
$NO_x$	170	381,06	103,53	-	-
$SO_2$	490,74	1.100,00	298,87	-	-

<sup>a</sup> Valores tabelados; <sup>b</sup> Valores calculados.

Tabela 2 – Fatores de emissão e redução de emissão de poluentes

### 4 Considerações finais

A redução das emissões de  $CO_2$ ,  $CH_4$ , e  $N_2O$  contribuem para a mitigação da emissão de GEE em 46.740 kg $CO_{2\text{equiv}}$ /ano, bem como de óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ) e dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), causadores de chuva ácida. Além disto, a ação de raios ultravioleta (UV) de origem solar, sobre o dióxido de nitrogênio ( $NO_2$ ), ocasiona transformações fotoquímicas que levam à formação do ozônio ( $O_3$ ). A presença do ozônio no nível do solo apresenta-se como um risco para a saúde humana, provocando proble-

mas como tosse e diminuição da capacidade pulmonar.

A utilização de coletores solares também contribui para a diminuição da emissão de material particulado, reduzindo os danos à saúde humana e os efeitos nocivos ao meio ambiente, tendo em vista que estas partículas alteram os níveis de radiação solar que atingem o solo, prejudicando o crescimento de plantas.

A partir dos dados obtidos, conclui-se ainda que seja de grande interesse econômico optar pelo aquecimento parcial da água da piscina. A quantidade de óleo economizada representa uma redução de aproximadamente 27% do total de 55.000kg de óleo consumido anualmente pela caldeira, representando um ganho econômico significativo.

Os valores encontrados nas emissões de GEE e a massa de combustível economizada foram pequenos para este caso, devido à escala do projeto. As reduções poderiam ser maiores se fosse aumentado o número de painéis solares ou então, através da substituição do combustível atualmente utilizado por outras fontes renováveis, como bioóleo ou lenha, que apresentam balanço de carbono nulo.

### Referências

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2006**: Ano base 2005: Resultados Preliminares / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2006.
- CARVALHO, J. A.; LACAVA, P. T. **Emissões em processos de combustão**. São Paulo: UNESP, 2003. 135p.
- CLIMATE CHANGE 1995. **The science of climate change**: Summary of Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report, pg 26. Disponível em: <<http://ghg.unfccc.int/gwp.html>>. Acesso em julho de 2007.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar energy of thermal processes**. New York, 1980.
- GARCIA, R. **Combustível e combustão industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003, 202p.
- HOUGHTON, J. T. *et al.* Revised 1996 IPCC **Guidelines for national greenhouse gas inventories**, 1996.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate change 2007**: Impacts, Adaptation and vulnerability. Summary for Policymakers, Brussels, 2007.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion**: 1971-2004. OECD/IEA, Paris, 2006.
- MICHELS, A. **Construção e análise de rendimento térmico de coletores solares para aquecimento de água com baixo custo de fabricação**. Relatório inter-no final. Santa Maria, 2005. 21p.

NOGUERA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia:** Fundamentos e Aplicações. Rio de Janeiro, 2003. 199p.

OZISIK, M. N. **Radioative transfer and interaction with conduction and convection.** New York, 1973.

SILVA, I. Z. *et al.* Analysis of emitted gases by boilers of the UFSM. In: **Simpósio Brasil-Alemanha**, 2, 2005, Santa Maria. p. 15.

TOLMASQUIN, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.