

METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA POR COLETORES SOLARES PLANOS

Adilson G. Silva Júnior – sucramzabuza@hotmail.com

Centro Universitário UNA, Engenharia de Controle e Automação

Filipe Cota – filipe.cota@hotmail.com

Centro Universitário UNA, Engenharia Química

Priscila Coelho – priabcoelho@hotmail.com

Centro Universitário UNA, Engenharia Química

Lucas Paglioni Faria – lppg@ig.com.br

Centro Universitário UNA

Elizabeth Marques Duarte Pereira – elizabeth.pereira@una.br

Centro Universitário UNA

Leonardo Nunes Alves da Silva - leonardo.n.silva@eletrobras.com

Eletrobras

Resumo. Esse estudo tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do software ScenoCalc, utilizado pelo programa europeu de certificação de coletores solares – Solar Keymark, para trinta cidades brasileiras que possuem dados climáticos na base Meteororm do software TRNSYS. Para tal foram selecionados três coletores genéricos com classificação atual A, B e C na Tabela do INMETRO. O programa calcula a produção de energia pelos coletores solares, em média anual, para diferentes níveis de temperatura do coletor solar. Os resultados para a temperatura de 35 °C foram confrontados com os valores previstos para a nova classificação do INMETRO, que entra em vigor em julho de 2014. Esses resultados indicam que a adoção de um valor único de produção de energia por coletores solares para todo o país pode dificultar sobremaneira o entendimento dos consumidores finais sobre as especificidades locais do dimensionamento de instalações de aquecimento solar.

Palavras-chave: ScenoCalc, Produção mensal de energia, Eficiência térmica, Coletores solares

1. INTRODUÇÃO

A partir de julho de 2014, a norma brasileira ABNT NBR 15747-2: 2009 passará a ser adotada no Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO, introduzindo novos ensaios e metodologia de tratamento de dados, além de promover uma atualização na tabela dos coletores solares, elevando as faixas de classificação para os valores apresentados na Tab. 1.

Tabela 1 - Faixas de Classificação: Coletor Plano e Sistema Acoplado - Aplicação Banho

Classe	Produção Específica Mensal - PME_E (kWh/m ² - mês)
A	$80,3 < PME_E$
B	$73,3 < PME_E \leq 80,3$
C	$66,3 < PME_E \leq 73,3$
D	$59,3 < PME_E \leq 66,3$
E	$52,3 < PME_E \leq 59,3$

Fonte: INMETRO (2012)

Para um país com níveis de irradiação solar incidente, em média anual, na faixa de 3,50 kWh/m² a 6,65 kWh/m² e regiões de grande variabilidade anual, conforme mostra a Fig. 1, e na vigência de programas nacionais de incentivo ao uso do aquecimento solar como o Programa Minha Casa Minha Vida, torna-se necessária uma reavaliação continuada das informações que são disponibilizadas aos consumidores finais relativas ao desempenho dos produtos ensaiados.

Nesse estudo, propõe-se uma avaliação dos valores obtidos pelo programa ScenoCalc, desenvolvido pelo Technical Research Institute of Sweden – SP e adotado pelo programa europeu de certificação de coletores solares – Solar Keymark, para as trinta cidades brasileiras cujos dados climáticos estão disponibilizados na base de dados Meteororm do software TRNSYS, considerando-se coletores com classificação atual A, B e C na Tabela do INMETRO.

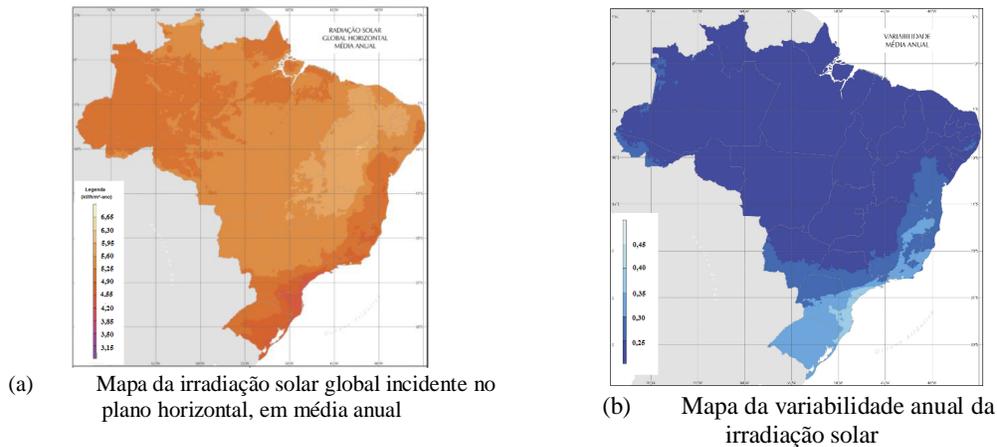


Figura 1 – Mapas da irradiação solar incidente no Brasil
 Fonte: Adaptado de Pereira et al (2006)

2. PROGRAMA SCENOCALC

O programa *ScenoCalc* (2013) é um simulador, desenvolvido em Excel®, para cálculo da produção mensal e anual de energia por um coletor solar em determinadas condições de instalação e para quatro cidades europeias: Atenas, Davos, Estocolmo e Wurzburg. Por simplificação, o programa considera a temperatura média do fluido no coletor constante durante as 8760 horas de simulação, sendo definidos para o Solar Keymark os valores de 25 °C, 50 °C e 75 °C. Assim, o *ScenoCalc* permite comparar diferentes tipos de coletores solares, ensaiados segundo a norma EN 12975-2 e operando sob determinadas condições.

Os resultados são utilizados pelo Solar Keymark na certificação de coletores solares na Europa, mas o programa europeu não cria atualmente uma tabela de classificação, a exemplo do que é feito pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO.

A concepção do programa *ScenoCalc* é bastante amigável e sua aplicação é autoexplicativa. A tela inicial é mostrada na Fig. 2, sendo discutidas a seguir as considerações gerais sobre os demais dados de entrada.

Os dados climáticos de cada localidade utiliza a sequência sintética de suas médias horárias nas seguintes grandezas: temperatura ambiente, velocidade do vento, irradiação solar incidente no plano horizontal e sua componente direta de incidência normal para as quatro cidades já mencionadas.

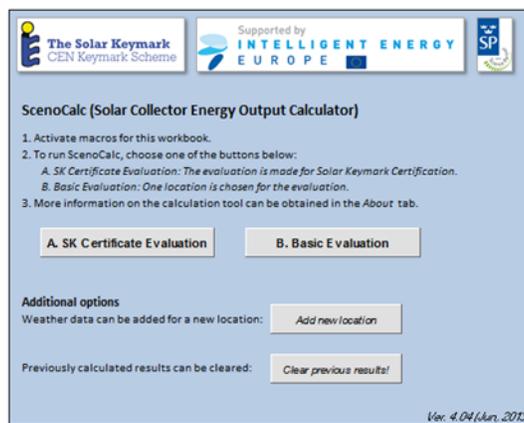


Figura 2 – Tela de entrada do programa ScenoCalc
 Fonte: ScenoCalc (2013)

Determinação da temperatura média do fluido de trabalho

Conforme comentado anteriormente, os valores adotados para a temperatura média do fluido de trabalho no *ScenoCalc* são: 25 °C, 50 °C e 75 °C. No caso brasileiro, o setor que mais utiliza os coletores solares é o residencial e, assim, a partir de medidas em instalações solares e de simulações da operação do SAS com o software TRNSYS foram incluídas na base de dados do programa as seguintes temperaturas médias para a água, a saber: 30 °C, 35 °C e 40 °C.

Parâmetros da curva de eficiência térmica

O programa utiliza os dois tipos de ensaio de eficiência térmica de coletores solares: regime permanente e condições quasi-dinâmicas, sendo os coeficientes da equação gerados em referência à área transparente do coletor solar, como mostrado na Fig. 3.

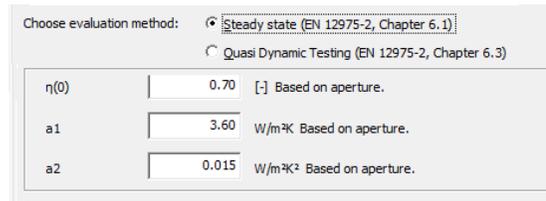


Figura 3 – Tela do Tipo de ensaio do programa ScenoCalc

Fonte: ScenoCalc (2013)

Fator de correção do ângulo de incidência

Para o fator de correção do ângulo de incidência de coletores planos, o programa Scenocal recalcula seu valor para cada hora do dia, fazendo um ajuste linear entre os dados fornecidos para ângulos de incidência da irradiação solar direta de 0° e 50°, conforme mostrado na Fig. 4.



Figura 4 – Tela de correção do ângulo de incidência do programa ScenoCalc

Fonte: ScenoCalc (2013)

Ângulos da instalação dos coletores solares

Considerou-se o coletor fixo (*no tracking*). Para o ângulo de inclinação do coletor, o ScenoCalc predefine apenas os ângulos: 0°, 25°, 30° e demais valores mostrados na Fig. 5 e, assim, foi adotada para as 30 cidades brasileiras uma inclinação constante e igual a 25°. O ângulo azimutal de superfície foi também mantido constante e igual a 180°, ou seja, os coletores estariam voltados para o Norte Geográfico.

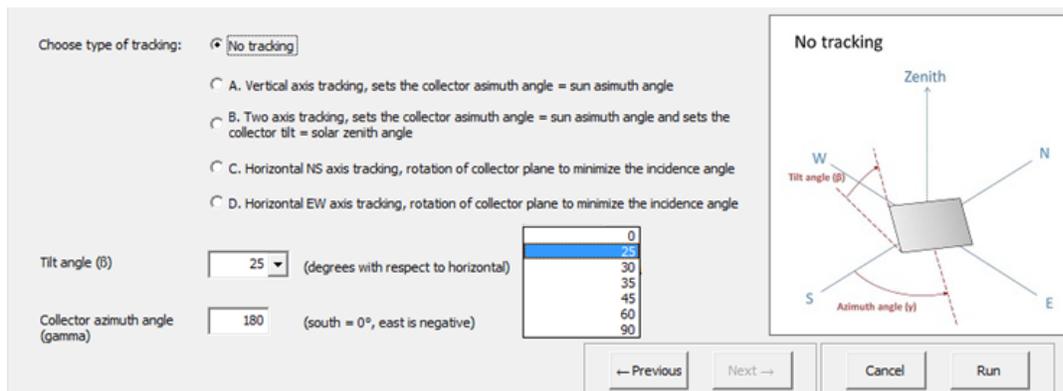


Figura 5 – Tela de inclinação dos coletores do programa ScenoCalc

Fonte: ScenoCalc (2013)

Relatórios de saída

Os relatórios de saída apresentam um resumo de todos os dados de entrada utilizados na simulação e seus respectivos resultados, na forma de tabelas e gráficos, da irradiância total e da energia útil produzida pelo coletor para as diferentes temperaturas médias da água, ambas expressas kWh/coletor.

Esses valores permite calcular a produção específica de energia, em médias mensal e anual, de cada coletor nos níveis de temperatura definidos.

3. RESULTADOS

3.1. Tratamento dos dados do ensaio de eficiência térmica

A norma brasileira ABNT NBR 15747-2: 2009, que passa a ser adotada no Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO a partir de julho/2014, introduz o ajuste quadrático da equação de eficiência térmica instantânea (η) na forma:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{(T_m - T_{amb})}{G} - a_2 \frac{(T_m - T_{amb})^2}{G} \quad (1)$$

onde $T_m = \frac{T_{fe} + T_{fs}}{2}$ é a média aritmética entre a temperatura da água à entrada do coletor solar (T_{fe}) e à saída (T_{fs}), a_1 e a_2 são os coeficientes de primeira e de segunda ordem associados às perdas de calor do coletor solar e G é a irradiância solar incidente no plano do coletor.

Assim, foram selecionados três coletores solares genéricos de classificação A, B e C na Tabela do INMETRO e, a partir dos dados obtidos nos ensaios de eficiência térmica, foram geradas as curvas segundo a equação 1, referenciadas à área transparente dos coletores e cujos valores são mostrados na Tab. 2.

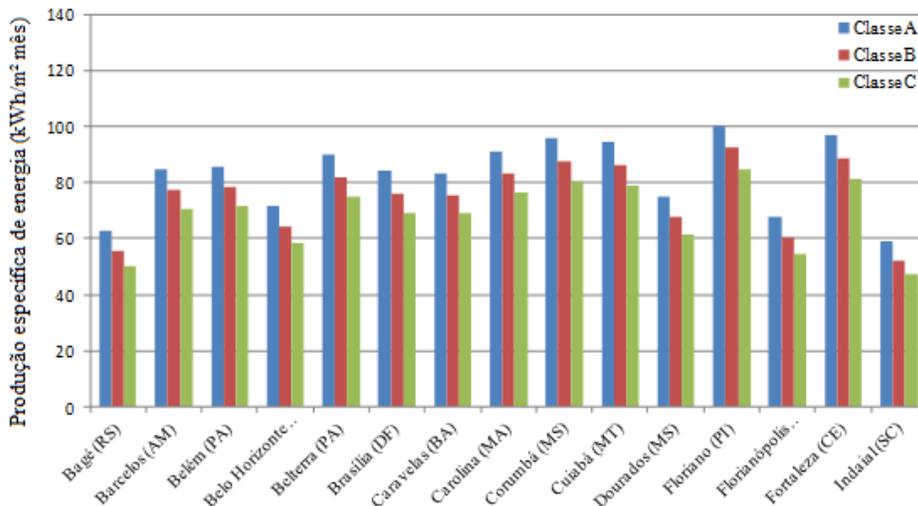
Tabela 2 – Parâmetros da equação de eficiência térmica, segundo a ABNT NBR 15747-2: 2009

Parâmetros	Coletor A	Coletor B	Coletor C
$\eta(0)$	0,732	0,688	0,637
a_1	5,317	6,111	6,029
a_2	0,0107	0	0

Fonte: os autores

Os parâmetros a_2 dos coletores B e C foram anulados, pois o sinal algébrico encontrado no ajuste quadrático foi negativo. Tal condição não se justifica teoricamente, pois esse termo está associado às perdas térmicas do coletor solar, acarretando, portanto, redução de sua eficiência térmica.

O cálculo da produção específica de energia, em kWh/m² - mês foi realizado para 30 cidades brasileiras, considerando-se seis níveis de temperatura média do coletor (25° C, 30° C, 35° C, 40° C, 45° C, 50° C e 75° C) e três modelos genéricos de coletores solares (classes A, B e C na Tabela do INMETRO). O gráfico da Figura 6 mostra os resultados para a temperatura média de 35° C, considerada típica para aplicação banho.



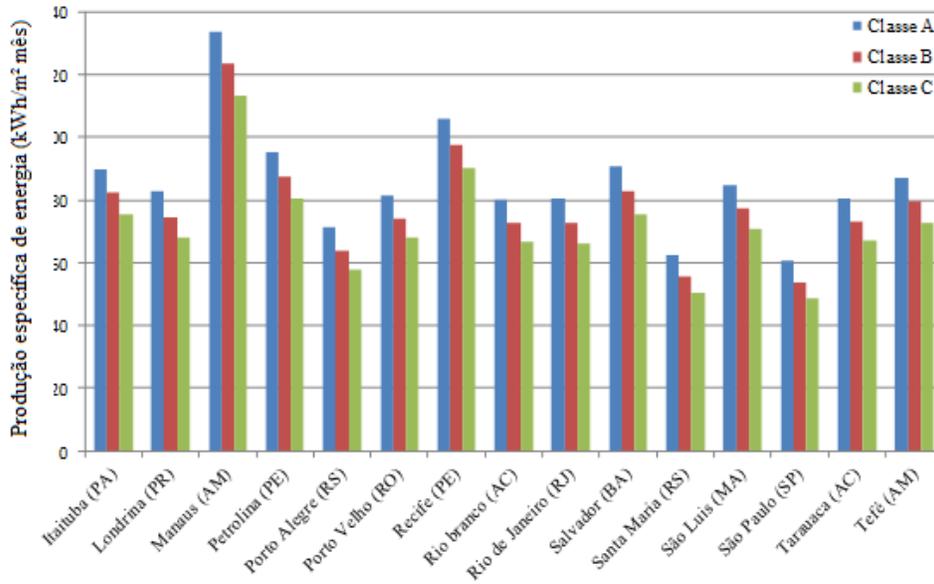


Figura 6 – Resultados da simulação do ScenoCalc para as cidades brasileiras com temperatura média da água de 35 °C
Fonte: os autores

Uma análise do gráfico da Fig. 6 mostra que em seis cidades (Corumbá, Florianópolis, Fortaleza, Manaus, Petrolina e Recife) todos os coletores avaliados produzem mais de 80,3 kWh/m² - mês, limite inferior da nova classificação A do INMETRO. Em contrapartida, coletores solares instalados em nove cidades (Bagé, Belo Horizonte, Dourados, Florianópolis, Indaiá, Porto Alegre, Rio Branco, Santa Maria e São Paulo) produzem menos energia do que o valor esperado pela classificação oficial.

Esses resultados indicam que a adoção de um valor único de produção de energia por coletores solares para todo o país pode induzir a erros de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar.

A Fig. 7 mostra, a título de exemplo, o relatório de saída para a cidade de Brasília/DF, cujos resultados apresentam o menor desvio padrão em relação à média dos valores obtidos para as 30 cidades avaliadas e os três modelos de coletores simulados. Os desvios calculados variaram entre 0,04% e 0,84% para os coletores A e C, respectivamente.

Results from the ScenoCalc evaluation				
Ver. 4.04 (Jun, 2013)				
Identification label for the solar collector: Not specified				
Date of evaluation: 3 December, 2013				
Evaluation method: Steady state				
Thermal yield per collector module (kWh/module)				
	Total irradiance	Yield for three collector mean temperatures		
		30°C	35°C	40°C
January	327	191	169	149
February	353	213	193	174
March	342	206	184	164
April	397	244	224	204
May	415	255	234	214
June	425	260	241	222
July	451	278	258	239
August	473	301	280	260
September	398	250	229	209
October	340	205	184	165
November	322	188	168	149
December	327	188	167	146
Year	4.571	2.780	2.530	2.293
Location: Brasília (DF)				
Longitude: -47,55				
Latitude: -15,46				
Time period for climate data: XXXX-XXXX				
Collector parameters (based on the aperture area)				
Aperture area 2,5 m ²				
η_0 0,732				
η_{0b} 0,743				
$K_{\theta, d}$ 0,901				
a_1 5,317 W/m ² /K				
a_2 0,0107 W/m ² /K ²				
Type of tracking: No tracking				
Tilt angle: 25°				
Azimuth angle: 180°				
IAM Type: Simple, one-direction				
$b_0 = 0.108$				

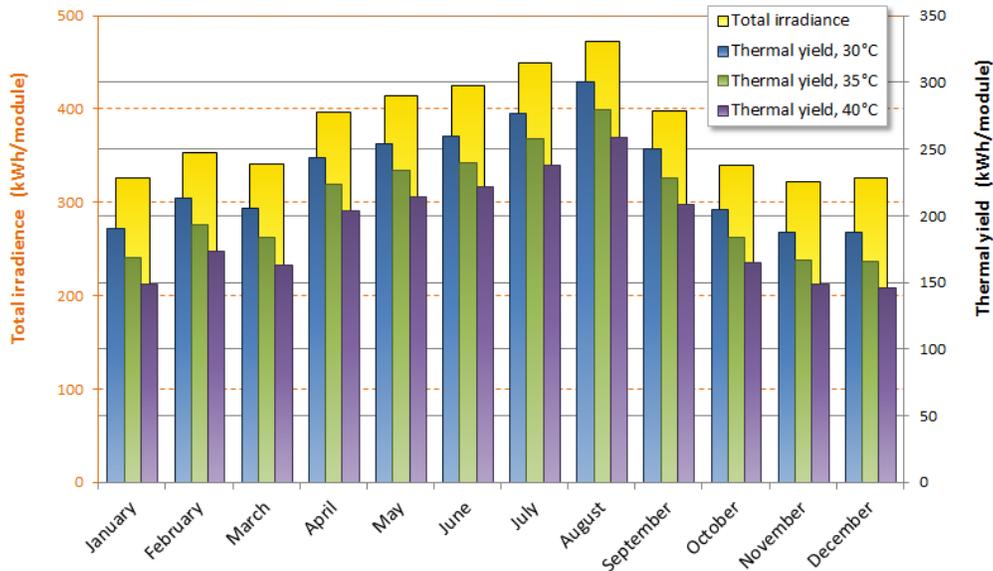


Figura 7 – Relatório de saída do ScenoCalc para a cidade de Brasília para um coletor solar classe A nas novas temperaturas simuladas

Fonte: os autores

A partir desses resultados, pode-se calcular a eficiência térmica dos coletores solares, em média anual, pela razão entre a produção de energia em cada temperatura do fluido e a irradiação solar total incidente no plano do coletor. Os valores obtidos para Brasília, a partir da Fig. 7, são: 60,8%; 55,3% e 50,2% para temperaturas entre 30 °C e 40 °C.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação ao programa ScenoCalc, destaca-se que a ferramenta, disponibilizada gratuitamente na internet e com atualizações constantes, sendo a última datada de 27/06/2013, possui interface amigável. Entretanto, seu uso de forma intensiva requer que os laboratórios brasileiros promovam a adequação do tratamento de dados para geração dos parâmetros da equação de eficiência térmica de modo a atender as condições de entrada do programa.

A grande variabilidade dos valores da produção específica de energia pelos coletores solares em 50% das cidades estudadas em relação àqueles disponibilizados atualmente, demonstram a importância de se ampliar as informações geradas a partir dos ensaios de coletores solares. Dessa forma, espera-se que o entendimento dos consumidores finais sobre as especificidades do dimensionamento de instalações termosolares seja significativamente facilitado.

Agradecimentos

A equipe do projeto agradece à Eletrobras/Procel pelo financiamento do projeto e, em particular, ao Luiz Eduardo Menandro de Vasconcelos, cuja sensibilidade e orientação têm direcionado o escopo dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

- INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria nº 301, de 14 de junho de 2012**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac001845.pdf> . Acesso em 15 agosto de 2012.
- Pereira, E. B.; Martins, F. R.; Abreu, S. L. e Rüther, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Brasil. 2006. Disponível em: http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf. Acesso em 05 de maio de 2012
- SCENOCALC versão 4.04. **Solar Collector Energy Output Calculator - Program for calculation of annual solar collector energy output**. Junho de 2013. Disponível em: <http://www.sp.se/en/index/services/solar/ScenoCalc/Sidor/default.aspx>. Acesso em 15 de julho de 2013.
- TRNSYS 17 - **A TRANSIENT SYSTEMS SIMULATION PROGRAM**. <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>.

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE ENERGY PRODUCTION OF SOLAR FLAT PLATE COLLECTORS

Abstract. *This study aims to evaluate the applicability of ScenoCalc program, used by European certification program for solar collectors - Solar Keymark, for thirty Brazilian cities that have climatic informations in Meteonorm database. Three generic collectors with current classification A, B and C in INMETRO's Table were selected for the simulations. The program calculates the energy production by solar collectors, annual average, for different levels of collector mean temperature. The results for the temperature of 35°C were compared with predicted values for the new classification of INMETRO, which comes into effect in July 2014. These results indicate that the adoption of a single value of energy production from solar collectors for the whole country can greatly hinder the understanding of final consumers about the local specifics of the sizing of solar heating installations.*

Keywords: *ScenoCalc, Monthly Energy Production, Thermal Efficiency, Solar Collectors*