

CORREÇÃO DA ÁREA MÍNIMA DE CAPTAÇÃO DOS COLETORES SOLARES PLANOS PARA AS CONDIÇÕES REAIS DE MONTAGEM NOS EDIFÍCIOS SITUADOS NO RIO DE JANEIRO

Renato G. Castanheira – rgcastanheira@uol.com.br

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – DAU/IT

Oscar D. Corbella – ocorbella@terra.com.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro - PROARQ-PROURB

2.2 – Equipamentos e sistemas de aquecimento de água

Freqüentemente nas instalações destinadas ao aquecimento da água nos edifícios, os projetistas observam que os mesmos não disponibilizam em seu envelope nenhuma superfície capaz de suportar os coletores orientados e inclinados de forma ideal. Nestes casos pode ser necessário corrigir o valor da área calculada para o posicionamento ideal (área mínima), para que seja mantida a taxa de captação de energia solar. O objetivo deste trabalho é proporcionar aos projetistas do Rio de Janeiro um método rápido e prático para estimar um fator para a correção para a área mínima, quando não é possível a montagem dos coletores na orientação e inclinação ideais. Os resultados são apresentados em dois gráficos elaborados com base no método f-chart, através do programa FC, onde foram calculadas as áreas equivalentes em termos de captação de energia solar para coletores para diversas orientações e inclinações, considerando as situações de inverno e anual média. Os resultados obtidos serão úteis aos projetistas como ferramentas auxiliares nas tomadas de decisão durante a fase de projeto.

Palavras-chave: Energia Solar, Aquecimento de água, Eficiência energética

1. INTRODUÇÃO

Em muitos casos envolvendo instalações destinadas ao aquecimento da água utilizando a energia solar, os projetistas observam que o edifício não disponibiliza em seu envelope nenhuma superfície com condições para a instalação dos painéis segundo a orientação e a inclinação consideradas ideais, de maneira que o dimensionamento conduza à área mínima de captação para a demanda de água quente requerida.

Para resolver o problema, pode-se construir uma estrutura especialmente projetada para suportar os coletores nas condições ideais de orientação e inclinação, mas é importante ressaltar que esta solução, em muitos casos, além dos seus custos inerentes, ainda pode comprometer as condições estruturais e estéticas do edifício.

Uma outra alternativa é aproveitar a superfície do próprio envelope que mais se aproxima da condição ideal para a montagem dos coletores, com uma conseqüente redução na captação de energia solar, sendo necessário corrigir o valor da área mínima de captação (incremento) para compensar as perdas inerentes do posicionamento fora das condições ideais.

O objetivo principal deste trabalho é proporcionar aos projetistas do Rio de Janeiro, um método rápido e prático para estimar, de forma aproximada, um fator de correção a ser aplicado no valor da área mínima, com o propósito de compensar as perdas devidas às condições reais de montagem.

A expectativa é auxiliar esses profissionais na elaboração de projetos de sistemas solares para o aquecimento de água mais simples e eficientes, propiciando desta forma um melhor desempenho energético dos edifícios e uma conseqüente economia de energia elétrica.

2. O APLICATIVO FC

Para possibilitar as análises necessárias para atingir o objetivo deste trabalho, foi codificado em *Object Pascal*, no ambiente *Delphi* um aplicativo computacional, denominado *FC*, para o dimensionamento de coletores solares planos destinados ao aquecimento de água, utilizando o método *f-chart*. O algoritmo utilizado tem como base as equações e os procedimentos apresentados em Beckman e Klein (1977).

2.1 Apresentação

O programa *FC* é composto de 3 telas. A tela principal do aplicativo, mostrada na figura 1, é destinada à entrada dos parâmetros básicos para o dimensionamento da área de captação. É dividida em três seções, onde as informações são agrupadas por afinidade.

Ao iniciar o programa, esta tela vem preenchida com valores padrões (default) que podem ser utilizados, como uma sugestão inicial, para a estimativa da área de captação para o aquecimento de água no inverno no Rio de Janeiro. Estes valores podem ser alterados de acordo com a vontade e a necessidade do usuário, permitindo que o programa possa ser utilizado em outras localidades e outras situações de projeto.

Local e posição

Latitude: -22.91 + Norte - Sul Inclinação: 45 0° - 90° Orientação: 0 0° - N 90° - L
 180° - S 270° - O

Informações gerais

Litros/pessoa/dia: 50 $F_{R U_L}$: 8.40 Volume/m²: 75
 (Wh/m².°C) (l/m²)

Nº de pessoas: 5 $F_R (\tau \cdot \alpha)$: 0.78 Temperatura de serviço: 60.0
 (°C)

Dados mensais

	Radiação (Wh/m ² .dia)	Albedo (Solo)	T.Amb, (°C)	T. Rede (°C)		Radiação (Wh/m ² .dia)	Albedo (Solo)	T.Amb, (°C)	T. Rede (°C)
Janeiro	5766	0.2	26.0	23.2	Julho	3525	0.2	21.3	18.5
Fevereiro	5937	0.2	26.5	23.6	Agosto	3911	0.2	21.9	19.1
Março	5304	0.2	26.0	23.3	Setembro	4015	0.2	22.0	19.4
Abril	4244	0.2	23.8	21.3	Outubro	4851	0.2	22.8	20.3
Maiο	3629	0.2	23.0	20.5	Novembro	5407	0.2	24.3	21.6
Junho	3386	0.2	21.7	19.2	Dezembro	5276	0.2	25.3	22.7

Ações

Limpar Padrão Cálculos Sair

Figura 1- Tela inicial do programa

Na seção *Local e posição* são inseridos os valores da *latitude local*, da *inclinação* e da *orientação* em que os coletores serão montados (posicionamento).

Na seção *Informações gerais* são inseridos os valores para a *demanda diária em litros de água quente por pessoa*, o *número de pessoas*, os *parâmetros característicos do coletor* $F_{R U_L}$ e $F_R (\tau \alpha)$ (fornecidos pelos fabricantes), o *volume de água acumulado por unidade de área de captação* e a *temperatura de serviço para a água aquecida*.

Na seção *Dados mensais* devem ser informados, para cada mês do ano, os valores para a *radiação solar média diária incidente no plano horizontal*, os valores para o *albedo do solo no entorno do coletor*, os valores para a *temperatura do ar no ambiente* e os valores para a *temperatura da água fria (rede) que ingressa no sistema*. Nesta seção, encontram-se o *botão limpar* que apaga os valores da latitude e dos dados apresentados na seção e o *botão padrão* que retorna os dados aos valores padrões (default).

Na seção *Ações* têm-se o *botão Cálculos* que abre a tela destinada aos cálculos (figura 2) e o *botão Sair* que encerra a sessão do programa.

Ao pressionar o *botão Cálculos*, abre-se tela mostrada na figura 2, onde é realizado o processo interativo para o dimensionamento da área de captação.



Figura 2- Tela inicial para os cálculos

Nesta tela são inseridos os valores para a *área inicial* e o *passo* utilizado para o incremento ou decremento da mesma. Os *botões +* (mais) e *-* (menos) incrementam ou decrementam a área exibida na caixa *Área*, de um valor igual ao passo.

As caixas *Anual*, *Inverno* e *Verão* mostram as frações médias de energia solar captadas pela superfície coletora cuja área é exibida na caixa *Área*, considerando os seguintes períodos: *anual*, *inverno* e *verão*.

A caixa *Volume* mostra o volume diário de água a ser aquecida e caixa *Vol. Acum.* mostra o volume do reservatório de água quente.

O botão *Dados iniciais* retorna à tela inicial (figura 1), o botão *Limpar gráfico* apaga todas as curvas traçadas e o botão *Traçar gráfico* abre a tela para os gráficos (figura 5).

O programa traça em preto, com espessura reforçada, a curva que representa a energia requerida ao aquecimento da água (carga térmica) e permite que sejam traçadas até 8 curvas simultaneamente para as necessárias comparações. Os botões *BMP* e *WMF* permitem que o gráfico seja transportado para a área de transferência do *Windows*, de forma a ser *colado* em um outro aplicativo.

A caixa *Mês* mostra os meses estudados e as caixas *X* e *Y* mostram fatores de cálculo pertinentes ao método *fchart*.

A caixa *Fração mensal* mostra a energia mensal captada pela superfície coletora cuja área é exibida na caixa *Área*, a caixa *Energia requerida* o valor mensal da energia necessária para aquecer a água e a caixa *Energia solar* mostra a quantidade mensal de energia captada pela superfície coletora cuja área é exibida na caixa *Área*.

2.2 Utilizando o programa *FC*

Para ilustrar o funcionamento do aplicativo *FC* foram estimadas as áreas de captação para dois sistemas solares de aquecimento de água situados no Rio de Janeiro. Foram consideradas uma situação típica de inverno e uma situação média anual. Ambas as simulações consideraram as seguintes condições:

- latitude = $-22,91^\circ$ ($22,91^\circ\text{S}$);
- demanda de água quente = 50 litros/pessoa.dia;
- $F_R U_L \cong 8,40 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ e $F_R (\tau\alpha) \cong 0,78$ (fornecidos pelo fabricante);
- volume acumulado por unidade de área = 75 litros/m² (sugestão);
- temperatura de serviço para a água quente = 60°C ;
- os valores para a radiação solar média diária mensal incidente no plano horizontal sugeridos para o Rio de Janeiro foram obtidos em Corbella (1995) e são apresentados na tabela 1. Para outras localidades estes valores podem ser obtidos em NASA (2006) e CRESESB (2006);

Tabela 1. Valores sugeridos para a radiação média diária mensal incidente no plano horizontal ($\text{Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$) no Rio de Janeiro

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Radiação	5766	5937	5304	4244	3629	3386	3525	3911	4015	4851	5407	5276

- o albedo foi considerado igual a 0,2 (terra marrom seca) para todos os meses do ano;
- os valores para temperatura média do ar (temperatura de bulbo seco) sugeridos foram obtidos em INMET (2006) e são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Valores para a temperatura média do ar no ambiente - TBS ($^\circ\text{C}$)

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temperatura	26.0	26.5	26.0	23.8	23.0	21.7	21.3	21.9	22.0	22.8	24.3	25.3

- na falta de informações sobre os valores da temperatura da rede de alimentação do sistema foram sugeridos os valores da temperatura de bulbo úmido. Os valores foram calculados com base na tabela 2 e valores correspondentes para a umidade relativa do ar obtidos em INMET (2006). Os resultados estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3. Valores para a temperatura da água da rede de alimentação- TBU (°C)

Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temperatura	23.2	23.6	23.3	21.3	20.5	19.2	18.5	19.1	19.4	20.3	21.6	22.7

Para as simulações na situação de inverno foi considerado como posicionamento ideal para os coletores, a orientação norte e a inclinação igual a 45° (CASTANHEIRA, 2001). Para as simulações referentes à situação anual, foram consideradas como posicionamento ideal para os coletores, a orientação norte e a inclinação próxima ao valor da latitude local (23°).

Em ambas as simulações foi considerada uma fração média igual a 0,75, ou seja, uma previsão de 25% de energia suplementar para o aquecimento da água. Os resultados obtidos após as simulações estão mostrados nas figuras 3 e 4.



Figura 3- Resultados para os coletores orientados para o norte e inclinados de 45°



Figura 4- Resultados para os coletores orientados para o norte e inclinados de 23°

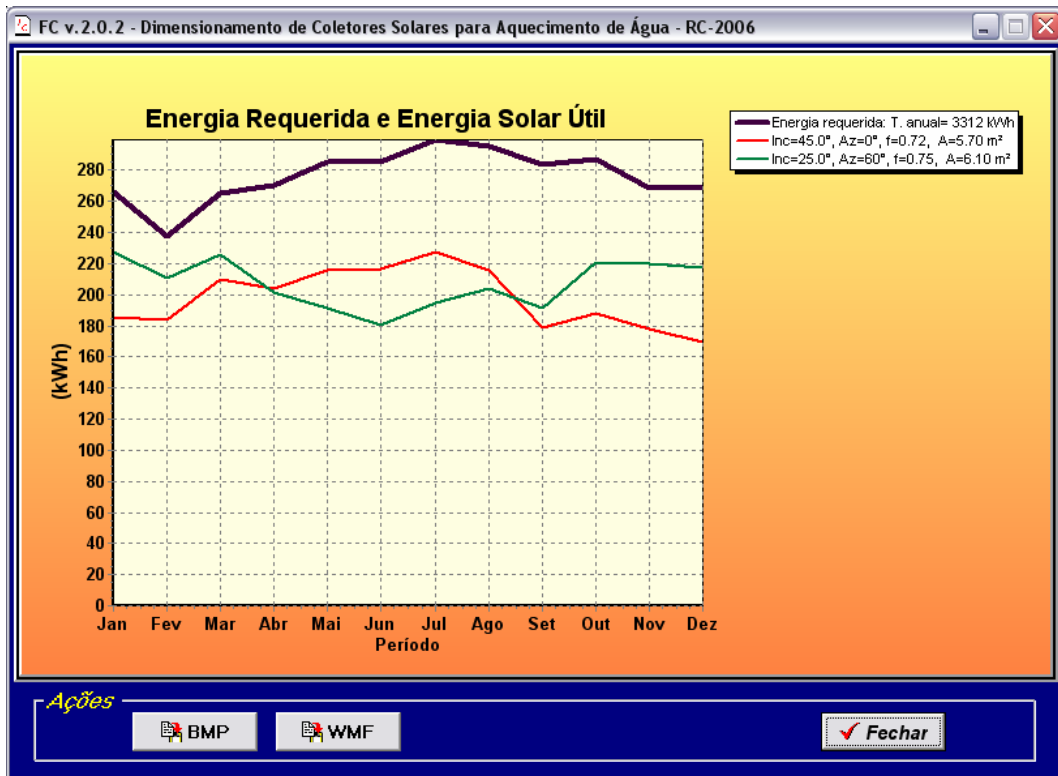


Figura 5- Curvas representativas para os casos analisados anteriormente

Conforme esperado, após a observação das caixas *Frações médias* e das curvas apresentadas na figura 5, constatou-se um fraco desempenho, no período mais frio, para o coletor dimensionado pela média anual. Os coletores menos inclinados têm seu ponto forte de captação nos períodos mais quentes do ano no Rio de Janeiro, portanto é necessário ser criterioso ao dimensionar coletores considerando um desempenho médio anual.

3. METODOLOGIA ADOTADA

Para estudar as correções que devem ser implementadas nos projetos de sistemas para captação de energia solar destinados ao aquecimento de água, quando os mesmos não são orientados e inclinados segundo as condições consideradas ideais, foram realizados no programa *FC* os procedimentos de simulação, apresentados a seguir.

3.1 Variação da orientação (γ)

A figura 6 mostra as variações consideradas para a orientação dos coletores nos procedimentos realizados.

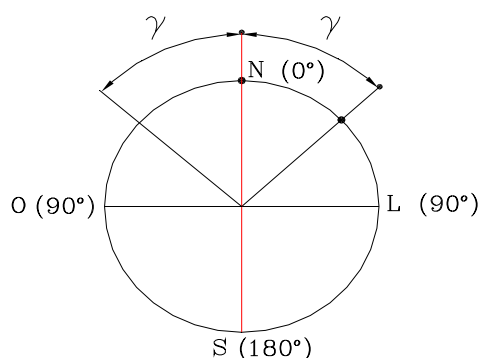


Figura 6- Variação da orientação

3.2 Situação de inverno

Foram analisados 60 posicionamentos diferentes, com a orientação variando de 0° (norte) até 90° (leste/oeste) e a inclinação variando de 0° (horizontal) até 45° (ideal). Todas as simulações consideraram uma demanda diária de 200 litros de água quente. Para os parâmetros restantes foram adotadas as sugestões do programa para o Rio de Janeiro. O valor de referência adotado é relativo ao posicionamento considerado ideal, mostrado em realce na tabela 4.

Tabela 4. Fator de correção F_s para o dimensionamento de inverno.

		Orientação (γ)									
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Inclinação	0°	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
	10°	1.32	1.32	1.33	1.34	1.36	1.39	1.41	1.45	1.48	1.51
	20°	1.16	1.17	1.19	1.22	1.25	1.29	1.34	1.40	1.46	1.52
	30°	1.06	1.07	1.09	1.14	1.18	1.24	1.31	1.38	1.46	1.54
	40°	1.01	1.02	1.05	1.10	1.15	1.22	1.30	1.39	1.48	1.58
	45°	1.00	1.01	1.05	1.10	1.16	1.23	1.31	1.41	1.50	1.61

Utilizando curvas de regressão e os resultados apresentados na tabela 4, foram traçadas as curvas para correção da área de captação mínima em função do posicionamento. A curva de referência é representada pela linha tracejada vermelha na figura 9.

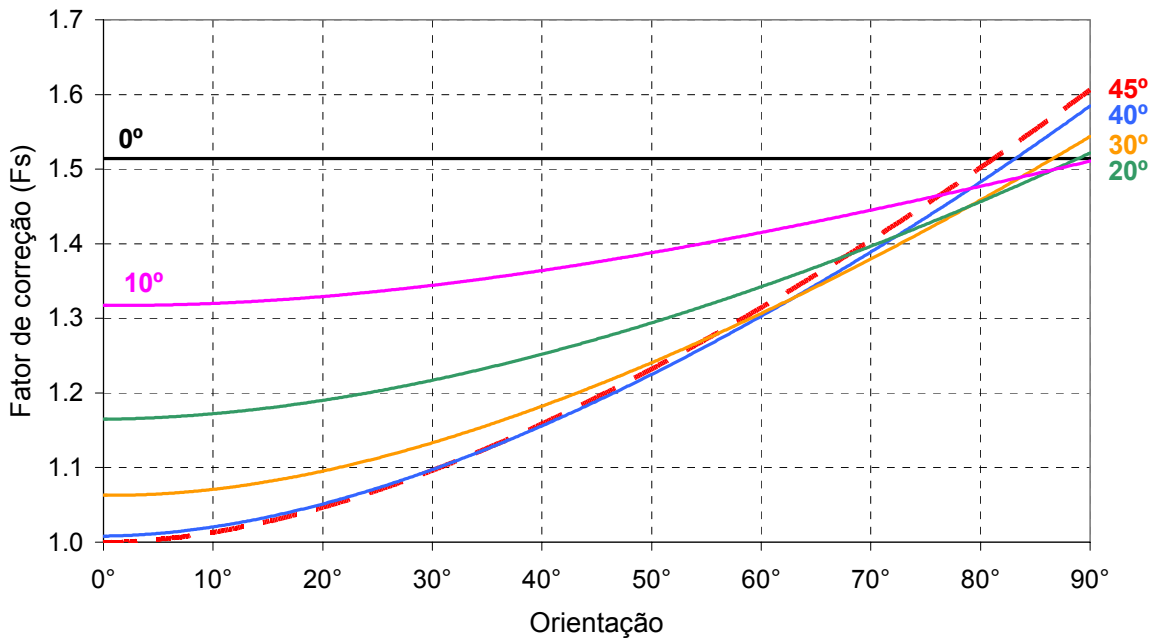


Figura 9- Curvas para a correção do posicionamento (inverno)

3.3 Situação anual.

Foram analisados 60 posicionamentos, com a orientação variando de 0° (norte) até 90 (leste/oeste) e a inclinação variando de 0° (horizontal) até 40°, incluindo a inclinação considerada ideal para o Rio de Janeiro (23°). Os parâmetros de simulação foram os mesmos utilizados anteriormente. Os valores de referência são os relativos ao posicionamento considerado ideal e exibido em realce na tabela 5.

Tabela 5. Fator de correção F_s para o dimensionamento médio anual

		Orientação									
		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Inclinação	0°	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
	10°	1.05	1.05	1.05	1.06	1.07	1.08	1.10	1.11	1.13	1.15
	20°	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.05	1.07	1.10	1.13	1.17
	23°	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05	1.07	1.10	1.14	1.17
	30°	1.01	1.01	1.01	1.02	1.04	1.05	1.08	1.11	1.15	1.20
	40°	1.05	1.05	1.06	1.06	1.07	1.09	1.12	1.15	1.20	1.25

Utilizando curvas de regressão e os resultados apresentados na tabela 5 foram traçadas as curvas para correção da área de captação mínima em função do posicionamento. A curva de referência é representada pela linha tracejada vermelha na figura 10.

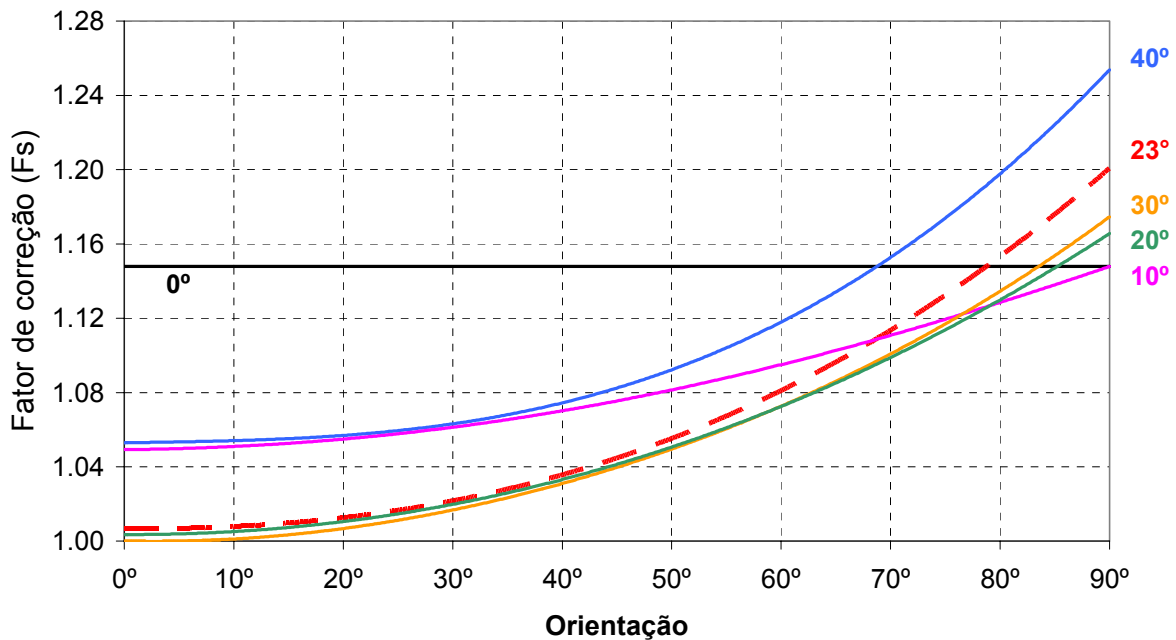


Figura 10- Curvas para a correção do posicionamento (anual)

4. DISCUSSÕES

As curvas obtidas e representadas nas figuras 9 e 10 são ferramentas interessantes para os projetistas de sistemas solares de aquecimento de água, pois permitem que, de uma forma rápida e simples, possam ser tomadas decisões importantes para os casos em que os edifícios não dispõem de um plano de telhado com a orientação e a inclinação ideais requeridas para a instalação do sistema.

Caso a solução a ser adotada seja a instalação dos painéis em uma superfície do envelope que não ofereça as condições ideais de posicionamento, os seguintes procedimentos devem ser adotados:

- escolher o plano do envelope (telhado) que mais se aproxima das condições ideais de posicionamento;
- realizar a correção no valor da área de captação mínima (calculada para as condições ideais), através da equação 1:

$$A_{CORRIGIDA} = A_{MÍNIMA} \times F_S \quad (1)$$

Na equação 1, o valor da área mínima pode ser obtida através de ferramentas computacionais, métodos práticos ou ainda recomendações encontradas em manuais (fabricantes).

O fator F_S é obtido nas curvas apresentadas nas figuras 9 ou 10 para o posicionamento real de montagem, conforme o período considerado no dimensionamento.

5. CONCLUSÃO FINAL

Após elaborar todas as etapas deste trabalho concluiu-se que o mesmo pode ser útil aos projetistas de sistemas de aquecimento de água utilizando a energia solar e que seria interessante estendê-lo para outras localidades, analisando também as orientações voltadas para o sul.

É importante ressaltar que a escolha da melhor solução a ser adotada, entre construir uma estrutura especial para a montagem dos coletores posicionados de forma ideal ou utilizar uma superfície já existente do envelope e corrigir o valor da área de captação, vai depender de uma criteriosa análise de custos e da vontade do cliente.

REFERÊNCIAS

- Beckman, W.A.; Klein, S.A.; Duffie, J.A., 1977, Solar Heating Design by the f-Chart Method, Wiley-Interscience.
- Castanheira, R.G., 2001. Radiação Solar Incidente em Planos Inclinados, Fachadas e Telhados no Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, PROARQ, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Corbella, O.D. 1995. Dados Consolidados de Energia Solar Global Diária em Plano Horizontal, para a cidade do Rio de Janeiro, Cadernos de Geociências do IBGE, Rio de Janeiro, n.16, p. 131-168.
- CRESESB. Disponível em: < www.cresesb.cepel.br/sundatn.htm>. Acesso em 30/04/2006.
- INMET. Disponível em www.inmet.gov.br. Acesso em 20/03/2006.
- NASA-EARTH SCIENCE ENTERPRISE PROGRAM. Surface meteorology and solar data set. Disponível em: <<http://shire.larc.nasa.gov/sse>>. Acesso em 10/03/2006.

CORRECTION OF THE MINIMUM AREA OF RECEPTION OF THE PLANE SOLAR COLLECTORS FOR THE REAL CONDITIONS OF ASSEMBLY IN BUILDINGS LOCATED IN RIO DE JANEIRO

Frequently in the facilities destined to the heating of water in the buildings, the planners observe that these facilities do not offer in the envelope any surface capable of supporting the collectors guided and inclined in an ideal way. In these cases it can be necessary to correct the value of the area calculated for the ideal positioning (minimum area), so that the tax of reception of solar energy is maintained. The objective of this work is to provide to the planners in Rio de Janeiro, a fast and practical method to esteem a factor for the correction of the minimum area, when it is not possible the assembly of the collectors in the orientation and ideal inclination. The results are presented in two graphs elaborated with base in the method f-chart, through the program FC, where the equivalent areas were calculated in terms of reception of solar energy for collectors of several orientations and inclinations, considering the winter situations and annual average. The obtained results will be useful to the planners as auxiliary tools in the taking of decision during the project phase.

Key Words: Solar Energy, Heating of water, energy Efficiency