

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

INFLUÊNCIA DO MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DA ÁREA COLETORA PRESCRITO PELA LEI SOLAR DE SÃO PAULO NA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES NA CIDADE DE SÃO PAULO¹

ARA, Paulo José Schiavon (1); SOWMY, Daniel Setrak (2)

(1) IPT, e-mail: pauloara@ipt.br; (2) IPT, e-mail: dss@ipt.br; POLI-USP, e-mail: dss@usp.br

RESUMO

Internacionalmente, tem-se adotado diversos mecanismos de incentivo aos sistemas de aquecimento solar de água (SAS) no ambiente construído. Dentre eles, as regulamentações têm tido um importante papel. O Brasil vem, recentemente, acompanhando essa tendência ao implantar leis de incentivo, como por exemplo, a lei Solar de São Paulo, que incluiu desde janeiro de 2008 no Código de Obras a obrigatoriedade da instalação, completa ou da infraestrutura, do SAS em novas edificações no município. A lei exige que o SAS forneça pelo menos 40% da demanda de água quente. Entretanto, quando se comprova que essa fração solar não é atendida, não há obrigatoriedade. Sendo assim, a insuficiência de área nas coberturas tem grande relevância. Dado que a Lei apresenta um método próprio de dimensionamento, analisa-se, neste trabalho, à luz do método Carta F, internacionalmente reconhecido, se a Lei tende a superestimar a área de cobertura necessária, facilitando a dispensa da Lei. As simulações comprovaram o fato para diversos cenários de orientação e eficiência dos coletores e quantidade de unidades habitacionais do empreendimento.

Palavras-chave: Lei Solar. Carta F. Fração Solar. Área coletora.

ABSTRACT

Many incentive policies are been adopted internationally to stimulate the use of solar water heating systems in the built environment. Among them, in many countries, laws and regulations have an important role. Recently, Brazil is following this trend by implementing many solar thermal incentive laws. An example is the São Paulo Solar Regulation that included, since January 2008, in the city Building Code the obligation to install solar thermal, completely or only infrastructure, in new buildings in the municipality. The Regulation requires that solar installation provides at least 40% of the hot water demand. However, when it is proved by a technical report that this solar fraction is not possible to be met, the building is dispensed with obligation. Thus, the lack of available area in the building roof has great relevance. Considering that the Regulation has its own solar system sizing method, this work aims to analyses if the sizing method included in the São Paulo Solar Regulation tends to overestimate the actually required roof area base on the internationally recognized F-Chart method. This would raise the probability of dispensing with regulation. Simulations run for many building, collectors and solar installation configurations proved the fact.

Keywords: Solar regulation. F-Chart method. Solar fraction. Collector area.

¹ ARA, P.J.S.; SOWMY, D.S.. Influência do método de dimensionamento da área coletora prescrito pela lei solar de São Paulo na implantação de sistemas de aquecimento solar de água em edificações na cidade de São Paulo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

O uso da energia solar para fins de aquecimento de água no ambiente construído remonta ao século passado. Entre 1900 e 1910, os primeiros sistemas comerciais de aquecimento solar para residências foram instalados pela empresa “Day & Nighth” na Flórida, Estados Unidos (GRAVELY, 2012). Desde essa época, a expansão da tecnologia foi constante. Na década de 1970, especialmente, a crise do petróleo reduziu a oferta dos combustíveis fósseis e impulsionou decisivamente a aplicação da tecnologia solar térmica no ambiente construído.

Ao final de 2013, a capacidade total instalada de sistemas de aquecimento solar de água (SAS) no mundo, atingiu a marca de aproximadamente 375 GW_{th} correspondendo a uma área de 535 milhões de metros quadrados de coletores solares. Apesar da expansão, o mercado solar térmico tem crescido menos a cada ano (MAUTHNER *et al.*, 2015).

Conforme a mesma referência, em 2011 a área instalada de coletores solares no mundo cresceu 14,3% em relação a 2010, em 2012 cresceu 6,6% em relação a 2011 e em 2013 apenas 1,8% comparado com o ano anterior. Dados nacionais comprovam essa desaceleração. Em 2013, o crescimento da área instalada foi de 19,8% em relação a 2012, e em 2014 o crescimento em relação ao ano anterior foi de apenas 4,5% (DASOL, 2015).

Nesse contexto, para alavancar o uso dos SAS torna-se cada vez mais importante adoção das políticas de incentivo, que podem ser de vários tipos: leis e regulamentos, redução de impostos, financiamentos, campanhas de conscientização, projetos de pesquisa e desenvolvimento, cursos e treinamentos (ESTIF, 2007). Dentre esses mecanismos tem-se destacado cada vez mais em diversos países e mais recentemente no Brasil, as Leis Solares, conhecidas como “solar obligations” (ESTIF, 2007).

A cidade de São Paulo, seguindo essa tendência, por meio do decreto 49.148 de janeiro de 2008 regulamentou a Lei 14.459 de julho de 2007 incluindo no Código de Obras e Edificações do município a obrigatoriedade da instalação do SAS completo ou de sua infraestrutura em novas edificações na cidade.

Entretanto, hoje, oito anos após a regulamentação, não se observa uma grande inserção do aquecimento solar nas edificações no município. Certamente, isso se deve a possibilidade de dispensa da obrigatoriedade que a Lei Solar de São Paulo oferece aos empreendimentos que se enquadrarem no artigo 12 do decreto, conforme abaixo:

A obrigatoriedade de instalação de Sistema de Aquecimento Solar não se aplica a edificações onde se comprove ser tecnicamente inviável alcançar as condições para aquecimento de água por energia solar. (MÚNICIPIO DE SÃO PAULO, 2008)

Constata-se que muitos empreendedores acabam por obter a licença da obrigatoriedade nas edificações a serem implantadas, valendo-se desse artigo do decreto, por meio da apresentação à prefeitura de um parecer

técnico comprovando a inviabilidade do SAS para a obra em questão.

O referido estudo deve considerar a melhor tecnologia disponível, conforme o texto do parágrafo 3 do artigo 12, conforme abaixo:

Os estudos técnicos deverão considerar o emprego da melhor tecnologia disponível, nos termos das recomendações técnicas do INMETRO e das normas técnicas vigentes, e deverão apresentar um parecer definitivo, com conclusões objetivas, bem como identificar claramente a obra a que se referem. (MÚNICIPIO DE SÃO PAULO, 2008)

Em outras palavras, pode-se entender que o parecer técnico que comprove a inviabilidade do SAS deve levar em consideração os coletores da melhor tecnologia conforme o INMETRO, isto é, coletores com classificação A, pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO.

Dessa forma, um especialista técnico pode simular a instalação de um coletor A, e obter a licença da obrigatoriedade comprovando, por exemplo, a insuficiência de área disponível na cobertura do prédio para dispor a quantidade de coletores solares que seria necessária.

De acordo com a Lei, a área coletora deve ser tal que atenda a no mínimo 40% da demanda de água quente do prédio, de acordo com o método de dimensionamento do Anexo A do decreto. Este método será chamado neste trabalho de "método da Lei Solar".

Vale ressaltar, porém, que existem diversos outros métodos de dimensionamento disponíveis aos projetistas de aquecimento solar. Dentre eles, destacam-se o método da norma brasileira ABNT NBR 15569:2008, o software DIMENSOL desenvolvido no Brasil, e os softwares internacionais POLYSUN e F-CHART, baseado no "método da Carta F", desenvolvido pela Universidade de Wisconsin nos Estados Unidos. Este último pode ser aplicado independentemente do software, por meio do equacionamento apresentado por Duffie e Beckman (2013). Pode-se dizer que o "método da Carta F" é a prática mais reconhecida e difundida internacionalmente.

2 OBJETIVO

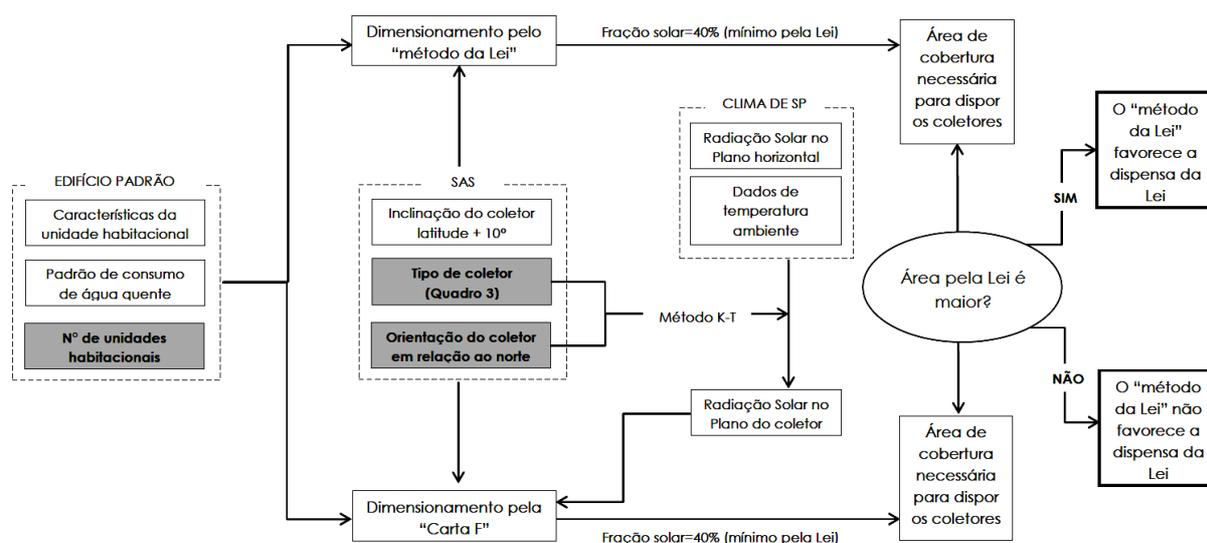
O objetivo do trabalho é analisar se o "método da Lei Solar", considerando um coletor A, tende a superestimar a área de coletores solares facilitando a aplicação do artigo 12 do decreto e dispensando a edificação da obrigatoriedade.

O parâmetro de referência para avaliar a confiabilidade da área coletora resultante do método da lei será o "método da Carta F", que além de ser reconhecido internacionalmente, apresenta um dimensionamento mais detalhado e preciso em comparação com "método da Lei Solar" de São Paulo.

3 MÉTODO

O método utilizado neste trabalho segue o esquema da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do método do trabalho



Fonte: Os autores

No fluxograma da Figura 1, as caixas destacadas em cinza são os parâmetros variáveis das simulações.

Foi definido um edifício padrão a ser situado na cidade de São Paulo, com as características de cada unidade habitacional e o padrão de consumo de água quente conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Edifício padrão utilizado nas simulações

Característica	Valor / dado utilizado
Quantidade de andares	De 5 a 25
Quantidade de unidades habitacionais por andar	4
Quantidade de pessoas por unidade habitacional	3
Uso da água quente	Banho
Vazão do chuveiro	8 L/min
Quantidade de banhos por pessoa por dia	1
Tempo médio de banho por pessoa	10 min
Temperatura da água de consumo (mistura)	37 °C
Temperatura média da água no reservatório térmico	50 °C
Temperatura da água de abastecimento	20,2 °C
Reflectância do entorno do campo dos coletores	0,2
Inclinação dos coletores	Latitude + 10° (33,5°)
Orientação dos coletores em relação ao norte	0° a 90°

Fonte: Os autores

Como referência para os parâmetros foram utilizados os dados apresentados por Kurb *et al.* (2013) e pelo Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo. A quantidade de andares do edifício (ou unidades habitacionais) consistiu em uma variável de simulação, sendo de 5 a 25 andares, conforme o Quadro 1.

Foi definido um SAS a ser instalado no edifício, com coletores inclinados em um ângulo correspondente à latitude mais 10° (igual a 33,5° para São Paulo).

O tipo de coletor e a sua orientação em relação ao Norte corresponderam a variáveis de simulação, conforme o Quadro 2. Quanto ao tipo de coletor foram escolhidos três coletores da Tabela de Eficiência Energética do Programa Brasileiro de Etiquetagem do INMETRO, todos de classificação A (Quadro 2). Quanto à orientação do coletor, isto é, seus desvios em relação ao Norte, foram considerados valores de 0° a 90°. Ou seja, orientados ao Norte (condição ideal) e com desvios até o Leste ou Oeste (orientação de 90°).

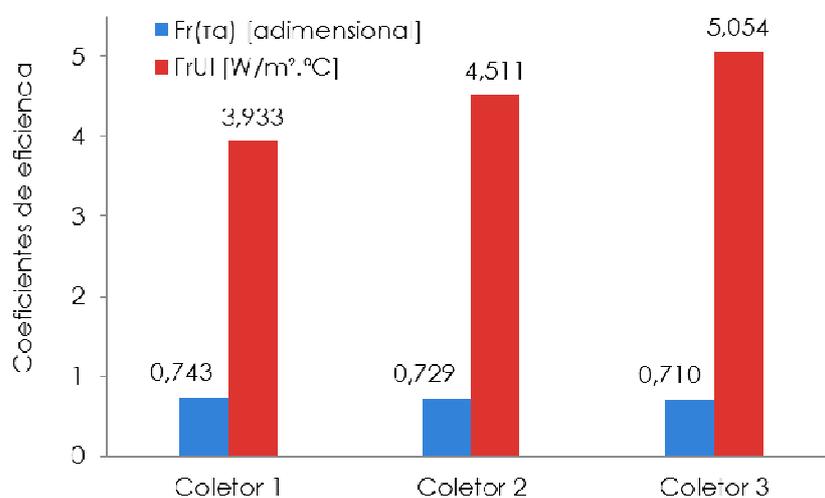
Quadro 2 – Coletores solares utilizados no trabalho

Parâmetro	Coletor 1	Coletor 2	Coletor 3
Tipo	Plano	Plano	Plano
Classificação PBE	A	A	A
Área externa aproximada (m ²)	2,4	1,0	1,5
Produção de energia (kWh/mês.m ²)	88,6	84,8	80,2
F_{rUL} (W/m ² .°C)	3,933	4,511	5,054
$F_r(\tau\sigma)$ (adimensional)	0,743	0,729	0,710

Fonte: Os autores

A título de comparação a Figura 2 compara os coeficientes da curva de desempenho térmico dos coletores do Quadro 2. Vale lembrar que todos tem classificação A conforme o INMETRO.

Figura 2 – Coeficientes da curva de desempenho dos coletores estudados



Fonte: Os autores

Definido o edifício com sua demanda e o SAS, foram realizadas as simulações por ambos os métodos da Lei Solar e da Carta F, para calcular a área de coletores necessária para atender a 40% da fração solar, que é o mínimo exigido pela Lei. Por hipótese, considerou-se o edifício com laje plana e que a única área disponível para a instalação dos coletores é a cobertura. Por fim, adotou-se o índice 1,6 utilizado no Guia de Parametrização da Lei Solar de São Paulo como razão entre a área total de cobertura necessária para o SAS e área da superfície dos coletores.

Para o método da Carta F, foi necessária a obtenção de dados climáticos. Os dados de radiação solar no plano horizontal foram obtidos do banco de dados solarimétricos disponibilizado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB). A conversão da radiação do plano horizontal para o plano de inclinação e orientação desejada foi realizada pelo Método K-T desenvolvido por Klein e Theilacker (1981) e reproduzido por Duffie e Beckman (2013).

Os dados de temperatura ambiente média mensal foram obtidos do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) para a cidade de São Paulo. A temperatura de abastecimento de água fria foi obtida do Anexo A do decreto e o valor da razão entre volume de reservatório de água quente e área coletora, necessária ao “método da Carta F”, foi obtida, para cada cenário, pelo método da ABNT NBR 15569:2008.

Por fim, as áreas de cobertura demandadas pelos dois métodos foram comparadas. Pelo fato do método da Carta F ser mais preciso, detalhado e rigoroso, a área resultante da simulação pela Carta F foi considerada como a “área realmente necessária”. Se a simulação pelo “método da Lei Solar” resultasse em uma área de cobertura maior que a “realmente necessária” (resultado da simulação pela Carta F), deduz-se que o método de dimensionamento que consta na Lei tende a superestimar a área a ser disponibilizada na cobertura e facilitar a elaboração de um Parecer Técnico que dispense o edifício do SAS, de acordo com o Artigo 12 do decreto.

4 EQUACIONAMENTO

Pelo “método da Lei Solar” a área coletora necessária é calculada de acordo com a Equação 1.

$$A_C = F_{cd} \cdot F \cdot E / P_{ME_{SP}} \quad (1)$$

Onde A_C é a área coletora em m^2 , F é a fração solar, F_{cd} é um fator de correção em função do desvio do Norte (conforme o Quadro 3), E é a demanda mensal de energia em kWh/mês e $P_{ME_{SP}}$ é a produção mensal de energia do coletor para a cidade de São Paulo, calculado como 65% da Produção de Energia do coletor apresentada no Quadro 2.

Quadros 3 – Fator de correção em função do desvio do Norte (F_{cd})

Desvio do Norte geográfico	F_{cd}
Até 30°	1,00
De 31 a 60°	1,13
De 61 a 90°	1,16

Fonte: Anexo A do decreto nº 49.148 do município de São Paulo

Pelo “método da Carta F” determina-se a fração solar do SAS, para cada mês do ano, de acordo com a Equação 2.

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,00187 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3 \quad (2)$$

Onde f é a fração solar mensal, X e Y são adimensionais com equacionamento próprio apresentado por Duffie e Beckman (2013). O parâmetro X representa o ganho de energia do sistema e é dependente da área coletora, enquanto que o parâmetro Y representa as perdas de energia térmica do SAS.

Calculadas as frações solares mensais para cada mês i (f_i), obtém-se a fração anual (F) pela Equação 3, utilizando as demandas mensais de energia térmica (L_i) para cada mês i .

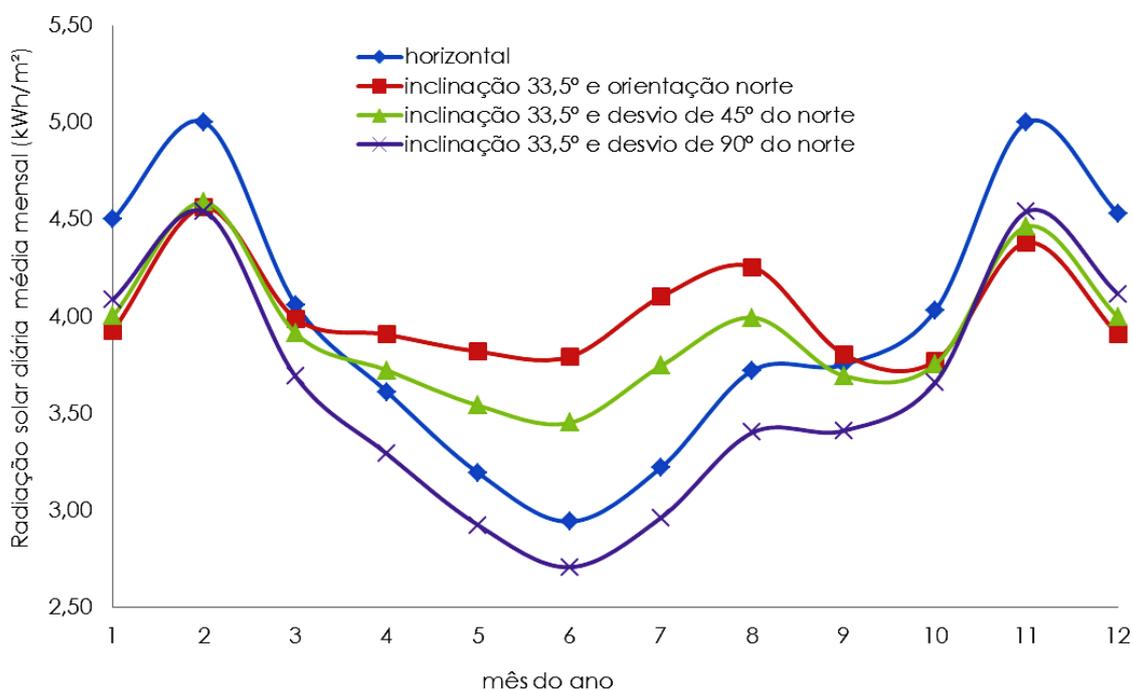
$$F = (\sum f_i \cdot L_i) / (\sum L_i) \tag{3}$$

Impondo um valor fixo de fração solar pode-se determinar a área coletora necessária para suprir essa fração F , que neste trabalho é 40%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3, a seguir, apresenta os resultados de radiação solar média diária simulada para cada mês do ano, em kWh/m², para a inclinação de 33,5° e algumas orientações em relação ao Norte, em comparação com os dados obtidos para o plano horizontal.

Figura 3 – Simulações de radiação solar diária média mensal



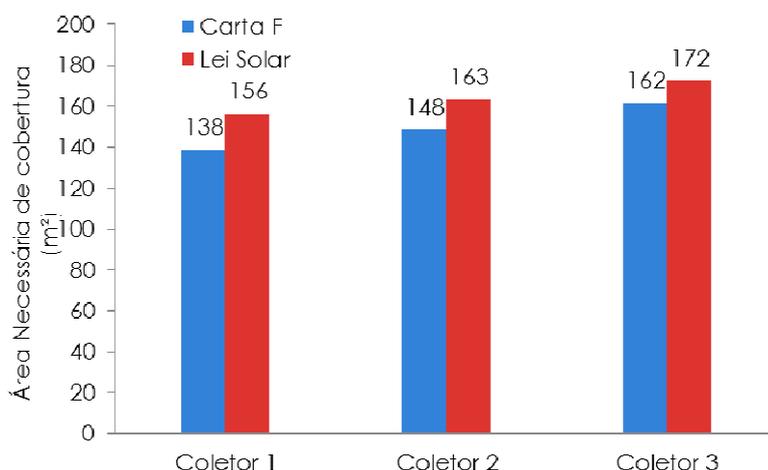
Fonte: Os autores

Como esperado, a radiação global incidente no plano inclinado a 33,5° (linhas vermelha e verde), foi maior que a incidente no plano horizontal (linha azul) para os meses de inverno e menor para os meses de verão, quando a altitude solar é maior. A linha roxa mostra que a radiação solar para o plano

inclinado a 33,5° e com desvio em relação ao Norte de 90° foi menor que para o plano horizontal em todos os meses do ano.

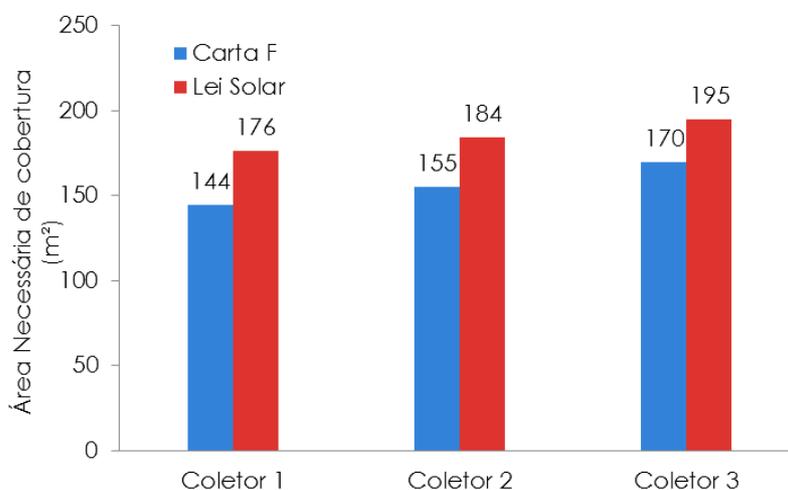
Para o edifício com 25 andares e os 3 tipos de coletores do Quadro 2, as simulações para fração solar de 40% resultaram nas áreas de cobertura ilustradas na Figura 4, para orientação Norte e na Figura 5, para desvio do Norte de 45°.

Figura 4 – Áreas de cobertura para orientação Norte



Fonte: Os autores

Figura 5 – Áreas de cobertura para um desvio de 45° do Norte



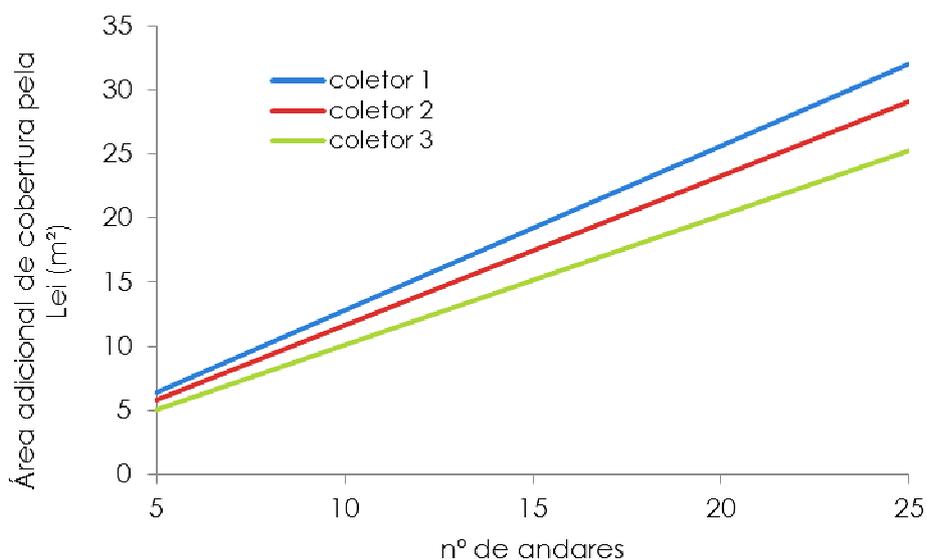
Fonte: Os autores

A Figura 4 mostra que, para a orientação Norte, a área de cobertura dimensionada pelo “método da Lei Solar” é aproximadamente 13%, 10% e 7% maior do que a área dimensionada pela Carta F, respectivamente para os coletores 1, 2 e 3, do Quadro 2. Da mesma forma, a Figura 5 mostra que, para a orientação Nordeste ou Noroeste (desvio de 45° em relação ao Norte), a área de cobertura dimensionada pelo “método da Lei” é aproximadamente 22%, 19% e 15% maior do que a área dimensionada pela Carta F, respectivamente para os coletores 1, 2 e 3.

Da Figura 4 e da Figura 5, pode-se observar que quando se utiliza o “método da Lei” com um coletor de classificação A, a área necessária de cobertura fica superestimada, considerando-se, conforme exposto na seção 5 deste trabalho, que o valor resultante do dimensionamento pela Carta F, é o valor mais próximo do ideal (mais preciso). Por exemplo, para o coletor 1 do Quadro 2, a área de cobertura a ser disponibilizada é aproximadamente 18 m² maior que seria realmente necessária (Carta F), para a orientação Norte e aproximadamente 32 m² maior que seria realmente necessária, para orientação Nordeste ou Noroeste. Pelas Figuras, se observa também que conforme diminui a eficiência do coletor (do coletor 1 ao 3), a área adicional pelo “método da Lei” em relação à Carta F também diminui.

Quando se considera a variável quantidade de andares, a diferença entre a área de cobertura pelo “método da Lei” e pela Carta F resulta nos valores indicados na Figura 6, em metros quadrados de laje da cobertura, para os coletores orientados ao Norte.

Figura 6 – Área adicional de cobertura pela lei em relação à Carta F

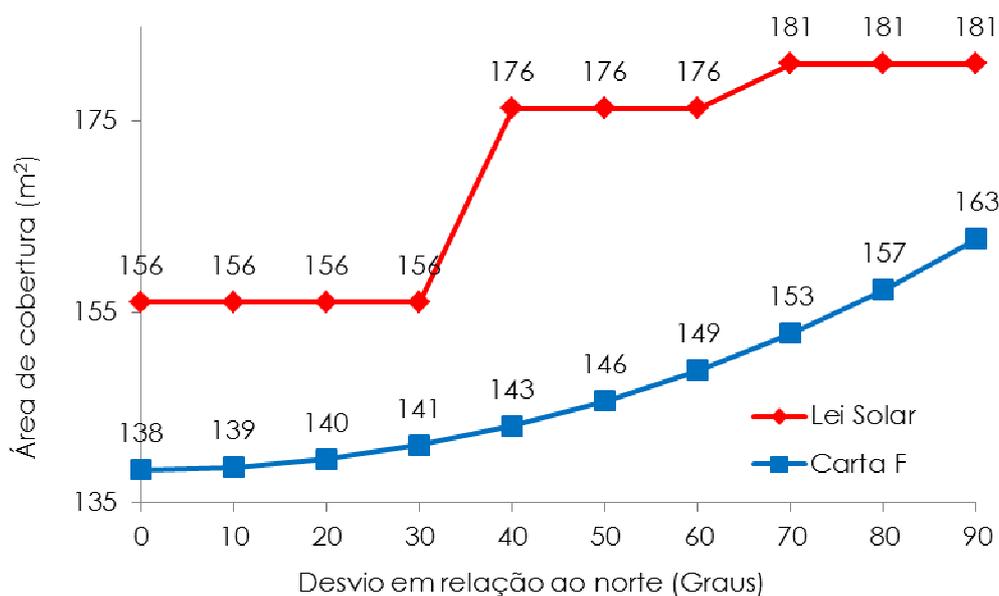


Fonte: Os autores

A Figura 6 mostra que a área adicional cresce conforme aumenta a altura do edifício. A cada 10 andares, a área adicional aumenta 10,1 m², 11,6 m² e 12,8 m², respectivamente para os coletores 1, 2 e 3. É importante lembrar que todos os cálculos foram realizados para atingir a fração solar mínima da Lei que corresponde a 40%, conforme apresentado na seção 4.

Essas tendências também são observadas nas simulações para diferentes orientações dos coletores em relação ao Norte geográfico. A Figura 7 ilustra as áreas de cobertura necessárias de acordo com ambos os métodos, para o edifício com 25 andares e o coletor 1. É interessante observar que enquanto a área de coletores, pela Carta F, aumenta de forma quadrática conforme aumenta o desvio do Norte, para o “método da Lei” esse crescimento ocorre “em degraus”, devido aos fatores de correção do Quadro 3.

Figura 7 – Áreas de cobertura em relação ao Norte



Fonte: Os autores

A diferença entre as duas curvas, na Figura 7, corresponde à área adicional de cobertura que é necessária pelo “método da Lei Solar”, em relação à Carta F, para o prédio de 25 andares e coletor 1. A diferença máxima é atingida quando o desvio em relação ao Norte é 40°, correspondente à área de aproximadamente 33 m². Essa área é equivalente a um espaço de 5,5 m de comprimento por 6 m de largura, o que é significativo para a cobertura de um edifício na qual estão alocadas outras funcionalidades e obstáculos.

6 CONCLUSÃO

Considerando o edifício e o sistema de aquecimento solar de água definidos nesse trabalho, e considerando que o método de dimensionamento da área coletora pela Carta F conduz a resultados próximos da operação real, conclui-se que o método de dimensionamento apresentado pela Lei Solar de São Paulo tende a superestimar a área coletora do SAS e conseqüentemente facilita a elaboração de um parecer técnico, conforme permite o artigo 12 da Lei, que dispense o edifício da obrigatoriedade do uso de aquecimento solar.

Sendo assim, sugere-se a revisão do método de dimensionamento da Lei Solar de São Paulo de forma que se aproxime da situação real sem, no entanto, torná-lo muito complexo para sua aplicação.

REFERÊNCIAS

GRAVELY, Ben. A review of solar hot water systems history, design and applications. **Holocene Technologies**, North Carolina, Estados Unidos da América. Disponível em:

< <http://www.solarthermalworld.org/content/review-solar-hot-water-systems-history-design-and-applications-2012>>. Acesso em: 22 abr. 2016.

MAUTHNER, F.; WEISS, W.; SPÖRK-DÜR, M. AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. IEA **Solar Heating & Cooling Programme. Solar Heat Worldwide:** Markets and contributions to energy supply 2013. Gleisdorf, Austria: AEE INTEC, junho de 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR DA ABRAVA. **Revista Sol Brasil:** nº 26, abril/junho de 2015, p.4-5,. São Paulo: DASOL, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR DA ABRAVA. **Guia de parametrização da lei solar de São Paulo:** uma contribuição do setor de projetos para o dimensionamento de sistemas de aquecimento solar em edificações multi familiares. São Paulo: DASOL, ABRINSTAL, ABRASIP. Disponível em: < <http://www.http://www.solarthermalworld.org>>. Acesso em: 08 fev. 2016.

European Solar Thermal Industry Federation. **Solar Thermal Action Plan for Europe.** Bruxelles: ESTIF, 2007. Disponível em: < <http://www.estif.org>>. Acesso em: 22 abr. 2016.

European Solar Thermal Industry Federation. **Best practice regulations for solar thermal.** Bruxelles: ESTIF, 2007. Disponível em: < <http://www.estif.org>>. Acesso em: 22 abr. 2016.

SÃO PAULO (Município). Decreto nº 49.148, de 21 de janeiro de 2008. Regulamenta a Lei nº 14.459, de 3 de julho de 2007, que acrescenta o item 9.3.5 à Seção 9.3 - Instalações Prediais do Anexo I da Lei nº 11.228, de 25 de junho de 1992 (Código de Obras e Edificações), e dispõe sobre a instalação de sistema de aquecimento de água por energia solar nas novas edificações do Município de São Paulo. **Diário Oficial do Município de São Paulo.** São Paulo, SP, jan. 2008.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes.** 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013. 928 p.

KURB J. R. *et al.* **Projetando Sistemas de Aquecimento Solar para Habitações Multi familiares.** 1. Ed. São Paulo: ABRAVA, GIZ, PROCOBRE, 2013.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15569:** Sistema de aquecimento solar de água em circuito direto - Projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2009.

CIAGRO CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS. **Ciagro online:** monitoramento climático. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 fev. 2016.

CRESESB CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Potencial Solar:** Sun Data. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 04 fev. 2016.

INMETRO INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Tabelas de consumo/eficiência energética:** Programa Brasileiro de Etiquetagem. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: 05 fev. 2016.