

# CERTIFICAÇÃO COMPULSÓRIA DE AQUECEDORES SOLARES NO BRASIL: NOVO MÉTODO DE ENSAIO E SUAS CONSEQUÊNCIAS NA CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA DOS COLETORES

Daniel Setrak Sowmy – dss@ipt.br

Douglas Messina – dmessina@ipt.br

Paulo José Schiavon Ara – pauloara@ipt.br

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Laboratório de Instalações Prediais e Saneamento

**Resumo.** O Inmetro introduzirá no Brasil, em julho de 2014, a obrigatoriedade da certificação de aquecedores solares. Além das implicações gerenciais, novos requisitos técnicos serão exigidos dos produtos. Para coletores, haverá um novo método para o ensaio de eficiência e para determinação da classificação de A até E. Isso trará mudanças significativas na forma de expressar a eficiência e de determinar a classe do coletor. Além da discussão sobre a transição regulatória, um estudo experimental foi realizado usando o simulador solar do IPT em três tipos de coletores planos. Os ensaios foram feitos pelo método novo (NBR 15747) e pelo método atual (ASHRAE-93) e foram determinadas as classificações de eficiência considerando a regra voluntária e a regra compulsória (Portarias n<sup>o</sup>395/08 e n<sup>o</sup>301/12 do Inmetro). Os resultados mostraram uma elevação média de 5,6 kWh/m<sup>2</sup>.mês na Produção Mensal de Energia específica (PMEe) e uma elevação média de 4,4 % na eficiência média dos coletores, da regra atual para a nova. Como os limites das classes de eficiência também se elevaram, os coletores ensaiados mantiveram sua classificação, mas a posição relativa dentro da classe se alterou. Da regra atual para a nova, a elevação dos índices mínimos das classes é maior para as classes inferiores (3,3 e 11,3 kWh/m<sup>2</sup>.mês para A e E, respectivamente), embora a PMEe determinada experimentalmente apresente crescimento similar independente da eficiência atual do coletor. Isso pode impor mais exigência aos produtos menos eficientes e pode também melhorar a classificação de produtos já bem ranqueados. Por fim, o trabalho ressaltou o fator de correção do ângulo de incidência do coletor como um ponto crítico para o resultado final. Foi mostrado que embora sua influência tenha diminuído com o novo método em relação ao atual, esse parâmetro ainda continua sendo significativo para a análise.

**Palavras-chave:** Coletor Solar, Etiquetagem Voluntária, Certificação Compulsória, Eficiência energética.

## 1. INTRODUÇÃO

O uso de energia solar para aquecimento de água tem se tornado cada vez mais significativo no mundo e no Brasil. Na Europa, por exemplo, segundo ESTIF (2013) o mercado solar térmico cresceu 10% ao ano de 2002 a 2012, isto é, o tamanho do mercado dobrou nesta década. O crescimento absoluto nas vendas foi de 20% ao ano de 2007 a 2012 e a taxa média de crescimento anual foi 3,6%, neste período (ESTIF, 2013).

O Brasil também segue a tendência mundial. De acordo com a DASOL (2012), o mercado solar nacional tem crescido nos últimos anos e superou o montante de 7 milhões de metros quadrados de coletores solares instalados. Destes, 76,2% estão no Sudeste, 10,3% no Centro-Oeste, 8,1% no Sul e 5,4% nas regiões Norte e Nordeste. A perspectiva é que o setor acumule no país 15 milhões de metros quadrados instalados em 2015 (DASOL, 2012).

Grande parte desse crescimento se deve aos programas do Governo Federal como o “Minha Casa Minha Vida”. Na primeira fase do programa foram instalados 183 mil sistemas de aquecimento solar de água (SAS) em unidades habitacionais unifamiliares (Caixa Econômica Federal, 2013). Na segunda fase do programa, os SAS passam a serem obrigatórios em moradias de famílias com renda máxima de 1,6 mil reais (Caixa Econômica Federal, 2013).

As legislações municipais que tornam compulsória a instalação de SAS em edificações também tem impulsionado o setor. A “Lei Solar de São Paulo”, por exemplo, incluiu essa obrigatoriedade no Código de Obras da cidade (Prefeitura de São Paulo, 2008).

Com essa nova realidade do mercado solar térmico brasileiro, tornou-se necessário a implantação de ferramentas regulatórias para o setor que assegurem a qualidade e a confiabilidade dos produtos. Neste sentido, em 1996, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) ampliou para equipamentos para aquecimento solar de água, o já existente Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (Certificasol, 2013). De caráter voluntário, o programa tem hoje aproximadamente 300 modelos de coletores solares e 275 modelos de reservatórios térmicos etiquetados (Assafin, 2012). Alguns aquecedores solares acoplados também já passaram pelo processo de etiquetagem e constam também nas tabelas de eficiência energética do Inmetro.

Internacionalmente, podem ser encontrados outros programas, no setor solar térmico, semelhantes ao brasileiro. Nos Estados Unidos, o “Solar Rating & Certification Corporation” (SRCC) conduz programas de etiquetagem para coletores solares e sistemas de aquecimento solar de água. Os equipamentos são ensaiados de acordo com a norma ISO

9806. A avaliação técnica é feita com o auxílio do software TRNSYS e os parâmetros de desempenho são publicados no site da organização.

Na Europa, se aplica a etiquetagem conhecida como “Solar Keymark” baseada nas normas EN 12975 e EN 12976 para coletores e também sistemas de aquecimento solar. Na Europa também se pode destacar o programa de certificação compulsória, conhecido como CE (“Conformité Européenne”), específico para aquele mercado, se aplicando à diversos setores industriais inclusive ao setor de aquecimento solar.

Atualmente, o PBE Solar brasileiro passa por uma importante fase de transição. O processo que desde o seu início consistiu na etiquetagem voluntária de equipamentos passará a ser, em julho de 2014, um programa de certificação compulsória. A obrigatoriedade da certificação certamente terá um grande impacto no setor e na sociedade.

Quando a compulsoriedade entrar em vigor, coletores solares planos abertos, fechados ou com tubo a vácuo, reservatórios térmicos de até 1000L e sistemas acoplados deverão obter o registro no INMETRO para serem fabricados e comercializados no mercado nacional (Inmetro, 2013). Novas questões logísticas e técnicas passarão a ser levadas em conta e isso implicará em um esforço de adaptação dos agentes envolvidos.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é discutir os efeitos da compulsoriedade para a classificação de eficiência dos coletores solares. Novos regulamentos foram publicados pelo Inmetro introduzindo um novo referencial normativo e um novo método de cálculo dos índices de eficiência dos equipamentos. A “Produção de Energia” do coletor, parâmetro que classifica o equipamento de A até E nas tabelas de eficiência energética do Inmetro, será necessariamente afetada pelos novos métodos que passarão a valer em julho de 2014.

Utilizando o simulador solar do Instituto de Pesquisa Tecnológicas de São Paulo (IPT), três modelos distintos de coletores solares foram submetidos a ensaios de eficiência tanto na “regra atual” como na “regra nova”, tendo seus resultados utilizados para calcular a classificação de A até E em ambos os programas, voluntário e compulsório. Os resultados foram discutidos e comparados a fim de analisar os efeitos da introdução da compulsoriedade.

## 2. ETIQUETAGEM VOLUNTÁRIA E CERTIFICAÇÃO COMPULSÓRIA

O programa de etiquetagem voluntário (PBE Solar) de equipamentos de aquecimento solar de água possui uma estrutura relativamente simples. O produto (coletor, reservatório ou sistema acoplado) que pleiteia a etiqueta do Inmetro é submetido a ensaios de qualidade através de um laboratório de ensaio acreditado.

Os resultados dos ensaios são analisados pelo Inmetro. Constatada a conformidade do produto de acordo com o Regulamento de Avaliação de Conformidade de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água (Portaria do Inmetro nº 395, de 10 de Novembro de 2008), o Inmetro autoriza o uso da etiqueta no equipamento e o inclui na Tabela de Eficiência Energética no site do Inmetro, com sua respectiva classificação de eficiência de A até E.

Já o novo programa compulsório se trata de uma certificação de 3ª parte, conduzida pelo Inmetro por meio de um Organismo de Certificação de Produto (OCP) acreditado. No novo modelo, os ensaios laboratoriais são apenas uma parte do processo. Requisitos adicionais são exigidos para a obtenção da certificação como, por exemplo, auditoria do sistema de gestão da qualidade do fabricante ou importador (Certificasol, 2013).

O processo passa a ser regulamentado pela Portaria do Inmetro nº 352, de 6 de Julho de 2012, que descreve os procedimentos gerenciais e administrativos da certificação e pela Portaria do Inmetro nº 301, de 14 de Julho de 2012, que especifica os aspectos técnicos a serem atendidos pelos equipamentos. Outro documento importante para o processo, no que diz respeito ao sistema de gestão é o publicado pela Portaria do Inmetro nº 361, de 6 de Setembro de 2011 que estabelece os requisitos gerais de certificação de produtos. Esse último é comum a todos os programas de Avaliação da Conformidade, dos quais o solar compulsório fará parte.

### 2.1 Mudanças normativas

Para coletores solares, a Portaria do Inmetro nº 301/12 introduziu mudanças nos métodos de ensaio, seja com relação à lista de ensaios a serem realizados seja quanto às normas de referências. O ensaio de desempenho térmico, um dos ensaios a ser realizado no coletor solar, teve sua norma de referência alterada conforme Tab. 1.

Tabela 1 - Documentos de referência para ensaios de desempenho térmico de coletores solares no PBE do Inmetro.

PROGRAMA	NORMA	REGULAMENTO
Voluntário	ASHRAE 93	Portaria nº 395/08
Compulsório	NBR 15747	Portaria nº 301/12

A mudança normativa implica que os resultados do ensaio de desempenho da regra atual não poderão ser utilizados diretamente na regra nova. Embora sejam substancialmente semelhantes, os métodos possuem diferenças oriundas do modelo físico de representação da curva eficiência. A norma americana ASHRAE 93 (ASHRAE, 2003), utilizado no programa voluntário, representa a eficiência térmica do coletor de acordo com a Eq. (1).

$$\eta_g = \left(\frac{A_a}{A_g}\right) F_R \left[ (\tau\alpha)_e - U_L \frac{(t_{f,i} - t_a)}{G_t} \right] \quad (1)$$

onde  $\eta_g$  é eficiência do coletor baseada na área externa,  $A_a$  é a área transparente do coletor,  $A_g$  é a área externa do coletor,  $F_R$  é o fator de remoção de calor do coletor,  $(\tau\alpha)_e$  é produto transmitância-absortância efetivo do coletor,  $U_L$  é o coeficiente global de perda de calor,  $t_{f,i}$  é a temperatura do fluido na entrada do coletor,  $t_a$  é a temperatura ambiente e  $G_t$  é a irradiância global no plano do coletor.

Já a norma brasileira NBR 15747 (NBR 15747, 2009), utilizada no programa compulsório, representa a curva de eficiência do coletor de acordo com a Eq. (2).

$$\eta_A = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 G \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (2)$$

onde  $\eta_A$  é eficiência do coletor baseada na área transparente,  $\eta_0$  é eficiência com perdas zero,  $a_1$  e  $a_2$  são coeficientes experimentais,  $t_m$  é a temperatura média do fluido no coletor,  $t_a$  é a temperatura ambiente e  $G$  é a irradiância global no plano do coletor.

Também de acordo com a norma NBR 15747 (NBR 15747, 2009), define-se a diferença de temperatura reduzida, conforme apresentado pela Eq. (3).

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G} \quad (3)$$

As expressões de eficiência que serão usadas pelo programa compulsório, Eq. (2) e Eq. (3) diferem da forma de expressar a eficiência do coletor apresentada na Eq.(1), usualmente utilizada até então e comum ao setor de aquecimento solar nacional. Os fatores  $F_R(\tau\alpha)_e$  e  $F_R U_L$  que constam nas tabelas do Inmetro e bem conhecidos dos fabricantes e técnicos do setor não serão mais usados para caracterizar o desempenho, mas sim os coeficientes  $\eta_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  da Eq. (2).

Com a mudança, também a curva de eficiência que caracteriza o coletor será alterada. Atualmente, a eficiência  $\eta_g$  é representada em função da razão  $t_{f,i} - t_a$  dividida por  $G_t$  sendo que com a “nova regra” a representação da eficiência será feita em função da diferença de temperatura reduzida  $T_m^*$ , conforme a Eq. (3).

De acordo com D. Rojas et al. (2008) a norma europeia e a americana ASHRAE 93 (ASHRAE, 2003) apresentam boa concordância de resultados. Sabe-se que a norma brasileira é derivada da norma europeia EN 12975 (EN 12975, 2006) e por consequência tenderá a resultados similares aos obtidos pela norma ASHRAE 93 (ASHRAE, 2003). Mesmo assim, é importante distinguir ambos os métodos, especialmente quanto à forma de expressar a eficiência e quanto aos parâmetros resultantes do ensaio.

## 2.2 Mudanças na determinação da classificação

Uma das características mais significativas da etiquetagem é atribuir ao produto um índice de eficiência energética e uma classificação de A até E. Para o fabricante ou importador, a classificação é importante, pois caso o produto seja etiquetado, a classe fica exposta na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) conforme a Fig. 1.

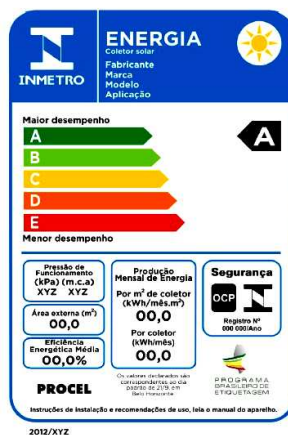


Figura 1 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia indicando a classificação.

Além de representar um diferencial competitivo, a classificação Inmetro é utilizada algumas vezes como requisito mínimo de desempenho para que o produto possa participar de determinado programa governamental (Prefeitura de São Paulo, 2008).

Para o consumidor, a simbologia é uma forma didática e intuitiva de diferenciar os produtos e serve como critério de decisão para a compra do equipamento. Na etiqueta, além das informações da “Produção Mensal de Energia” também constam dados técnicos do produto tais como a pressão de funcionamento e a área externa do coletor. A classificação A até E é função da “Produção Mensal de Energia específica do coletor” ( $PME_e$ ). Esse valor é obtido dividindo-se a “Produção Mensal de Energia” pela área externa do coletor.

A  $PME_e$ , em unidades de kWh/m<sup>2</sup>.mês é uma estimativa do quanto cada metro quadrado de coletor “produziria” de energia térmica em kWh ao longo do mês. É claro que para o cálculo desse índice são utilizadas hipóteses e considerados valores médios fazendo com que a  $PME_e$  não represente rigorosamente o comportamento real do equipamento. Porém, pode ser usada como um parâmetro numérico a fim de comparar os produtos.

**Mudanças no cálculo da  $PME_e$ .** No programa voluntário atual, o ensaio determina a curva de eficiência pela norma ASHRAE 93 (ASHRAE, 2003). Pelo ajuste linear, são obtidos os coeficientes linear e angular da curva, conforme Eq. (1). Obtém-se também a curva do fator de correção do ângulo de incidência do coletor ( $K_\theta$ ) e com base em parâmetros ambientais e de operação definidos pelo Inmetro para cada hora do dia, um valor de eficiência é calculado para cada hora deste dia padrão.

A partir dessa eficiência horária, é calculada, em Wh, a produção de energia do coletor ao longo do dia considerando a irradiância definida pelo Inmetro para cada hora, além da área externa do coletor. Sobre o resultado é aplicado um fator de conversão de unidades, para obter a  $PME_e$  em kWh/m<sup>2</sup>.mês. Esse método é similar ao adotado pelo “Florida Solar Energy Center” (FSEC, 2005) e consta no Regulamento Específico para Uso da ENCE – Sistemas e Equipamentos para Aquecimento solar de Água (RESP-006-SOL) do Inmetro (Inmetro, 2006).

Na regra compulsória, a forma de cálculo da  $PME_e$  é diferente, conforme descrito na Portaria do Inmetro nº 301/12. O ensaio determina a curva de eficiência  $\eta(x)$  pela norma brasileira NBR 15747 (NBR 15747, 2009). Pelo ajuste da curva, são obtidos os coeficientes  $\eta_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$ , da Eq. (2). A eficiência média ( $\eta_{méd}$ ) é obtida integrando-se a curva de eficiência em função de  $T_m^*$  até  $T_m^*$  igual a 0,044 °C/m<sup>2</sup>W e dividindo o resultado por 0,044 °C/m<sup>2</sup>W.

A “Produção Mensal de Energia” ( $P_{men}$ ) do coletor é obtida multiplicando-se a eficiência média ( $\eta_{méd}$ ), pelo fator de correção do ângulo de incidência do coletor ( $K_{\theta_{méd}}$ ) para 25°, pela área transparente ( $A_{aber}$ ) e pela radiação global diária média anual para Belo Horizonte de 17,6 MJ/m<sup>2</sup> (Inmetro, 2012), conforme a Eq. (4).

$$P_{men} = \frac{30 \times 1000}{3600} \times \eta_{méd} \times K_{\theta_{méd}} \times 17,6 \times A_{aber} \quad (4)$$

Para obter a “Produção Mensal de Energia específica do coletor” que define a classificação de A até E, divide-se o valor obtido de  $P_{men}$  pela área externa do coletor. O resultado é dado em kWh/m<sup>2</sup>.mês.

**Mudanças nas faixas de classificação.** Para a nova regra, os valores mínimos e máximos da  $PME_e$  que definem as classes de eficiência, foram alterados conforme a Tab. 2.

Tabela 2 - Valores de  $PME_e$  para classificação de eficiência para coletores aplicação banho, pela regra atual e pela regra nova (em kWh/m<sup>2</sup>.mês).

CLASSE	VOLUNTÁRIO (ATUAL)	COMPULSÓRIO (NOVA)
A	$77 < PME_e$	$80,3 < PME_e$
B	$71 < PME_e \leq 77$	$73,3 < PME_e \leq 80,3$
C	$61 < PME_e \leq 71$	$66,3 < PME_e \leq 73,3$
D	$51 < PME_e \leq 61$	$59,3 < PME_e \leq 66,3$
E	$41 < PME_e \leq 51$	$52,3 < PME_e \leq 59,3$

Como se observa na Tab. 2, as faixas de classificação “subiram”, isto é, a classificação se tornou, a princípio mais rigorosa. Os valores da  $PME_e$  mínima de cada classe aumentaram em média 6,1 kWh/m<sup>2</sup>.mês. Essa elevação dos valores base das classes foi maior nas classes de menor eficiência do que nas classes de maior eficiência. Para a classe E, a  $PME_e$  mínima exigida passou de 41 kWh/m<sup>2</sup>.mês a 52,3 kWh/m<sup>2</sup>.mês (aumento absoluto de 11,3 kWh/m<sup>2</sup>.mês) enquanto que para a classe A, a  $PME_e$  mínima exigida passou de 77 kWh/m<sup>2</sup>.mês a 80,3 kWh/m<sup>2</sup>.mês (aumento absoluto de 3,3 kWh/m<sup>2</sup>.mês)

Descritas brevemente as mudanças nos métodos de ensaio, as alterações na forma de cálculo da  $PME_e$  e as mudanças nas faixas de classificação, o próximo item passa a apresentar o estudo experimental realizado pelo IPT e as conclusões obtidas a partir dos ensaios, comparando a regra atual com a regra nova, no caso específico do ensaio de desempenho térmico de coletores solares fechados.

### 3. ESTUDO EXPERIMENTAL

Com o uso do simulador solar instalado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), foram ensaiadas três amostras de coletores solares planos, fabricados no mercado nacional, pelo método do programa de etiquetagem atual e também pelo método do novo programa compulsório. A Fig. 2 ilustra a instalação do simulador solar do IPT, utilizada para os testes.



Figura 2 - Simulador solar do IPT para ensaio de coletores solares.

Os três coletores ensaiados foram designados como Coletor 1, Coletor 2 e Coletor 3 e estão detalhados na Tab. 3.

Tabela 3 - Descrição dos coletores utilizados para o estudo comparativo.

ITEM	ÁREA EXTERNA (m <sup>2</sup> )	ÁREA ABERTURA (m <sup>2</sup> )	ABSORVEDOR	TIPO	APLICAÇÃO
Coletor 1	1,75	1,65	Metálico	Fechado	Banho
Coletor 2	2,01	1,91	Metálico	Fechado	Banho
Coletor 3	1,01	0,94	Metálico	Fechado	Banho

O método de análise está resumido no fluxograma da Fig. 3.

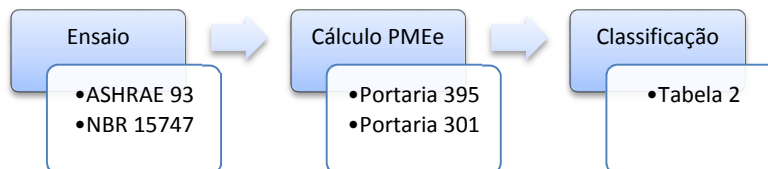


Figura 3 – Fluxograma do método experimental.

A fim de facilitar comparação dos resultados, para o Fator de Correção do ângulo de incidência ( $K_{\theta}$ ) foi considerada a seguinte hipótese. Utilizou-se um modelo similar ao proposto por Souka e Safwat (1966), descrito por Duffie e Beckman (1991), conforme a Eq. (5), onde  $b$  é uma constante e  $\theta$  o ângulo de incidência da radiação direta. Neste trabalho foi adotado  $b = 0,10$  conforme sugerido por Duffie e Beckman (1991), tanto para o método voluntário como para o método compulsório, embora a determinação experimental de  $K_{\theta}$  pela ASHRAE 93 e pela NBR 15747 induza a pequena diferença de valores. Para a regra nova, a curva foi utilizada para determinar  $K_{\theta}$  para  $\theta = 25^{\circ}$ .

$$K_{\theta} = 1 - b \left( \frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (5)$$

Para facilitar a representação dos resultados, o coletor 1 será representado neste trabalho como C1, seus resultados referentes ao método voluntário como C1V e seus resultados referentes ao método compulsório como C1C. A mesma lógica será utilizada para o coletor 2 (C2) e o coletor 3 (C3).

### 3.1 Curvas de eficiência instantânea

Realizando os ensaio de acordo com as normas NBR 15747 (NBR 15747, 2009) e ASHRAE 93 (ASHRAE, 2003) foram obtidas as curvas de eficiência experimentais mostradas na Fig. 4.

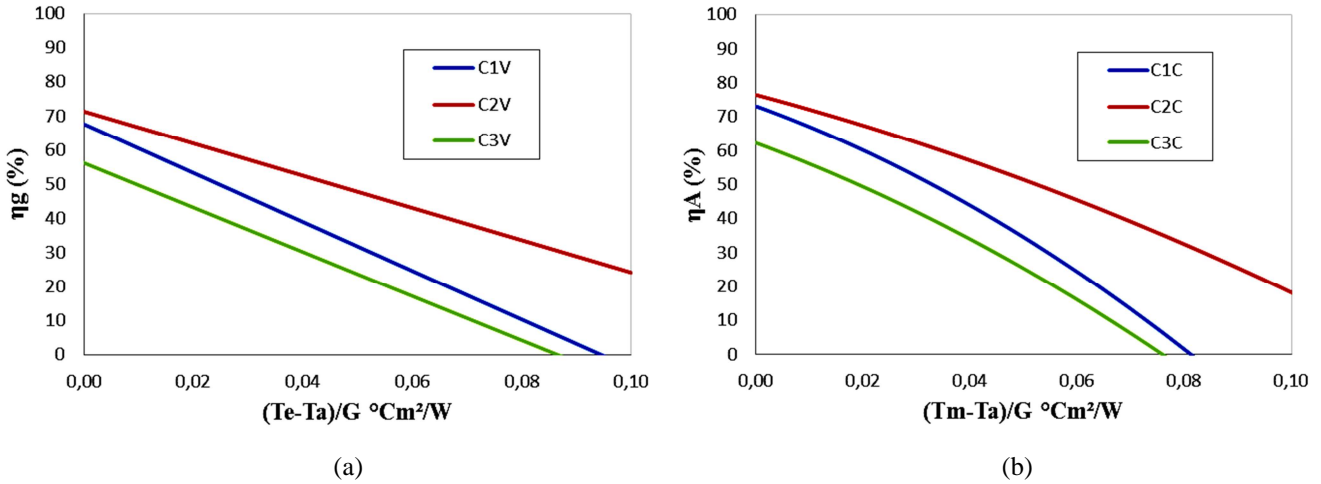


Figura 4 - Curvas de eficiência térmica obtidas nos ensaios: (a) Método ASHRAE 93; (b) Método NBR 15747.

Os parâmetros resultantes dos ensaios são mostrados na Tab. 4.

Tabela 4 - Parâmetros resultantes dos ensaios.

ITEM	Dimensões		MÉTODO ASHRAE 93		MÉTODO NBR 15747		
	Área externa	Razão área transparente/externa	$F_R(\tau\alpha)_e$	$F_R U_L$	$\eta_0$	$a_1$	$a_2$
			Adimensional	W/°C.m <sup>2</sup>	Adimensional	W/°C.m <sup>2</sup>	W/°C <sup>2</sup> .m <sup>2</sup>
C 1	1,75 m <sup>2</sup>	0,9451	0,716	7,567	0,730	5,682	0,361
C 2	2,01 m <sup>2</sup>	0,9526	0,749	4,942	0,764	4,191	0,015
C 3	1,01 m <sup>2</sup>	0,9296	0,605	6,980	0,622	5,820	0,027

### 3.2 Parâmetros do Inmetro

A partir dos resultados experimentais, procedeu-se o cálculo dos parâmetros do Inmetro, conforme descrito no item 2.2 deste trabalho. A Fig. 5 mostra as eficiências médias e as  $PME_e$  obtidas em ambos os métodos.

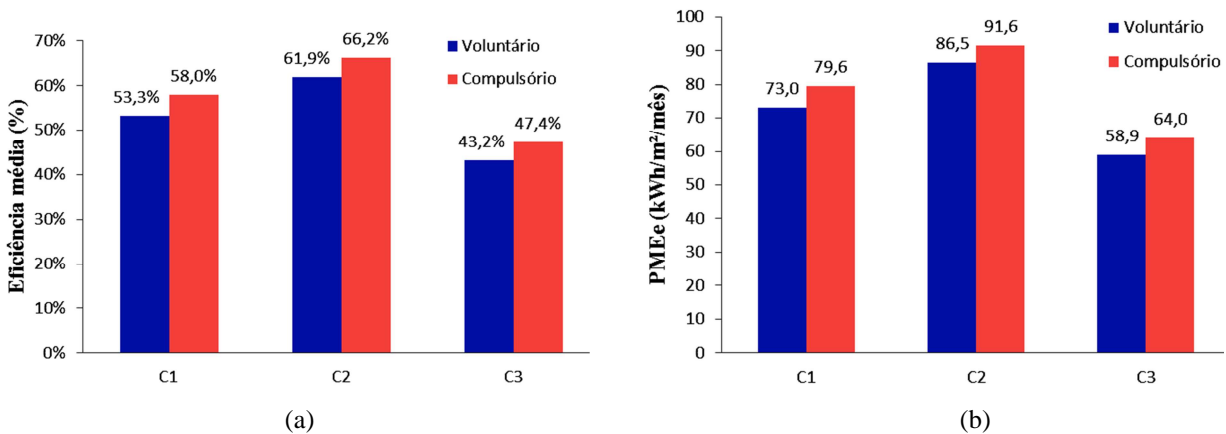


Figura 5 - Parâmetros do Inmetro para os coletores ensaiados: (a) Eficiência média; (b)  $PME_e$  em kWh/m<sup>2</sup>.mês.

A Fig. 6 mostra a classificação dos coletores ensaiados de acordo com as classes do Inmetro. As barras escuras indicam o índice obtido de Produção Mensal de Energia específica, em kWh/m<sup>2</sup>.mês e as barras coloridas indicam as classes de eficiência definidas pelo Inmetro. A legenda dos resultados é a definida anteriormente, 1 a 3 conforme o coletor ensaiado e V ou C conforme a regra considerada, voluntária ou compulsória.

Pelo desenho das barras coloridas é possível visualizar a elevação das classes de eficiência da regra atual para a compulsória, conforme apresentado numericamente na Tab. 2. Também se observa na Fig. 6, a alteração na  $PME_e$  na mudança de regra e a classe de eficiência resultante.

O coletor 2 obteve o melhor índice e o coletor 3, o pior. Embora os valores da  $PME_e$  tenham aumentado para os três coletores na transição da regra atual para a nova, a classificação se manteve a mesma para os três. O coletor 1 classificado como B na regra atual e manteve-se B na regra nova. O coletor 2 classificado como A na regra atual manteve-se A na regra nova. O coletor 3 manteve-se classificado como D.

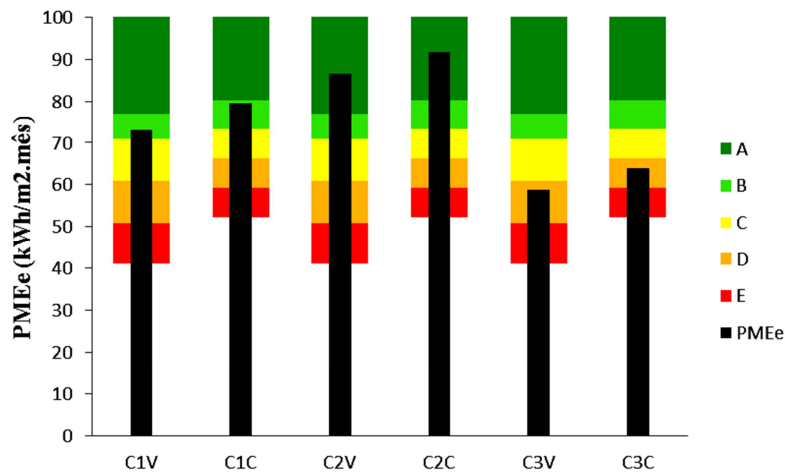


Figura 6 - Resultados dos ensaios e classes de eficiência.

Embora os coletores tenham mantido sua classificação, não mantiveram seu posicionamento relativo dentro da classe, conforme ilustra a Fig. 7. No gráfico pode ser visto, para cada coletor, em kWh/m<sup>2</sup>.mês, quanto a  $PME_e$  obtida está acima da  $PME_e$  mínima da classe, no método atual e no método novo.

Por exemplo, o coletor 1 na regra atual estava 2,0 kWh/m<sup>2</sup>.mês da  $PME_e$  mínima para ser classificado como B. Quando ensaiado na regra compulsória passou a ficar 6,3 kWh/m<sup>2</sup>.mês acima da  $PME_e$  mínima da classe B, mostrando que melhorou sua posição dentro da classe. De forma semelhante, o coletor 2 ficou 1,8 kWh/m<sup>2</sup>.mês “mais distante” do mínimo para ser classificado como A.

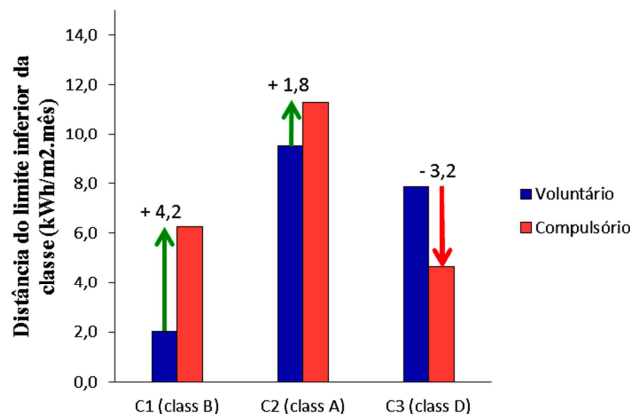


Figura 7 - Distância da  $PME_e$  obtida no ensaio em relação ao valor mínimo da classe, em kWh/m<sup>2</sup>.mês.

O coletor 3 foi o único que, embora mantendo a classe D, se aproximou do valor mínimo desta classe, na transição dos métodos. Na regra atual estava 7,9 kWh/m<sup>2</sup>.mês do mínimo para ser classificado como D. Quando ensaiado na regra compulsória sua  $PME_e$  passou a ficar 4,7 kWh/m<sup>2</sup>.mês acima da base da classe D, ficando 3,1 kWh/m<sup>2</sup>.mês “mais perto” da classe E, como mostra a Fig. 7, onde o termo “class.” foi usado como abreviatura de classificação.

O que se observou, porém, é que mesmo que a tendência do novo método seja resultar em uma  $PME_e$  um pouco superior do que na regra atual (5,56 kWh/m<sup>2</sup>.mês maior em média), essa elevação não foi equivalente ao deslocamento das classes sugeridas pela nova regra, principalmente porque as faixas menos eficientes (C, D e E) se deslocaram mais do que as faixas mais eficientes, conforme ilustra a Fig. 8.

Em outras palavras, para o coletor 3, enquanto sua  $PME_e$  melhorou 5,09 kWh/m<sup>2</sup>.mês com a mudança de regra, a  $PME_e$  mínima da classe D subiu 8,30 kWh/m<sup>2</sup>.mês, da regra atual para a nova.

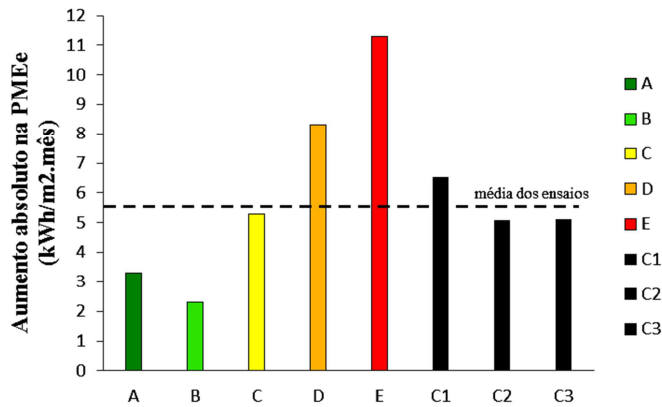
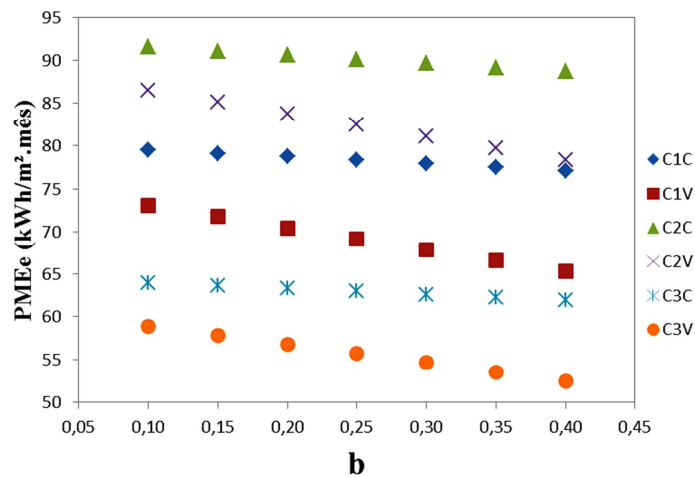


Figura 8 - Elevação absoluta das bases das classes e dos resultados dos ensaios na mudança de regra.

Como se observa na Fig. 8, independente da eficiência atual do coletor A, B ou D, a introdução do novo método resultou em aumentos semelhantes na  $PME_e$ . Entretanto, o aumento médio da  $PME_e$  obtida para os três coletores foi superior ao aumento da  $PME_e$  mínima das classes A, B e C. Por outro lado, o aumento médio da  $PME_e$  obtida para os três coletores foi inferior ao aumento da  $PME_e$  mínima das classes D e E. Se essa tendência se mantiver, um coletor D ou E, tende a sofrer mais a influência da “mudança de regra”, podendo cair de classe ou até ser desclassificado.

### 3.3 Parâmetros relevantes para os resultados

Durante o estudo, alguns parâmetros se mostraram relevantes para os resultados. Destaca-se aqui o fator de correção do ângulo de incidência ( $K_\theta$ ) que representa o efeito da redução eficiência decorrente da elevação do ângulo de incidência  $\theta$  da radiação direta. A influência do  $K_\theta$  na  $PME_e$  é ilustrada pela Fig. 9, através do coeficiente  $b$ , da Eq. (5).



(a) Fator de correção do ângulo de incidência; (b) Razão entre área transparente e área externa.

Figura 9 - Variação da  $PME_e$  em função de parâmetros: (a) Fator de correção do ângulo de incidência; (b) Razão entre área transparente e área externa.

Os dados mostram que influência do  $K_\theta$  é mais significativa na regra atual. Para os coletores ensaiados, uma mudança no valor de  $b$  de 0,1 para 0,3 faria a  $PME_e$  cair em média 4,94 kWh/m<sup>2</sup>.mês na regra atual e 1,64 kWh/m<sup>2</sup>.mês na regra nova. Embora o efeito de  $K_\theta$  seja menor na regra nova, ainda é significativo para o resultado.

## 4. CONCLUSÕES

A introdução, em julho de 2014, da certificação compulsória de equipamentos de aquecimento solar de água no Brasil em substituição a etiquetagem voluntária exigirá um esforço de adaptação dos envolvidos no setor. Fabricantes,



importadores, laboratórios de ensaios, organismos certificadores, entidades reguladoras e usuários deverão estar preparados para enfrentar os novos desafios gerenciais e técnicos impostos pela nova regulamentação do Inmetro.

No caso do desempenho de coletores solares, o novo método de ensaio resultará em parâmetros diferentes dos quais o setor está acostumado até agora. Os coeficientes  $F_R(\tau\alpha)_e$  e  $F_R U_L$  da equação de eficiência de 1º grau usada atualmente (ASHRAE 93) serão substituídos pelos coeficientes  $\eta_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  de uma curva de 2º grau (NBR 15747). A própria representação gráfica dos resultados apresentará a eficiência do coletor em função de uma grandeza envolvendo a temperatura média do fluido no coletor e não mais em função da temperatura de entrada no equipamento.

Os ensaios mostraram que as eficiências médias dos coletores no programa compulsório tendem a ser maiores do que as atuais. Para as amostras ensaiadas, as eficiências médias pelo novo método e a nova forma de cálculo proposta pelo Inmetro (Portaria nº301/12) ficaram em média 4,4 % maiores do que as obtidas com o método atual. Da mesma forma, com a nova regra, os valores da “Produção Mensal de Energia específica” ( $PME_e$ ), índice utilizado para classificar os coletores de A até E, foram em média 5,7 kWh/m<sup>2</sup>.mês maiores do que as obtidas com o método atual.

Como as faixas de classificação de eficiência também foram elevadas pela Portaria nº301/12, o aumento na  $PME_e$  muito provavelmente não causará alterações na classificação dos coletores. Como se observou no estudo, todos os coletores ensaiados mantiveram sua classificação.

Entretanto, a posição relativa dentro das classes alterou-se. Dois dos coletores ensaiados (atualmente classificados como A e B) se distanciaram do índice mínimo de suas classes enquanto que um dos coletores ensaiados (atualmente classificados como D) se aproximou da classe inferior. Os ensaios mostraram que para os três coletores a elevação da  $PME_e$  foi similar independente da classificação atual. Porém, a elevação dos índices mínimos das novas classes de eficiência propostas é desigual, variando de 3,3 kWh/m<sup>2</sup>.mês para a classe A até 11,3 kWh/m<sup>2</sup>.mês, para a classe E.

De acordo com os resultados, se a tendência da nova regra for elevar a  $PME_e$  dos coletores na mesma proporção independente da classe de eficiência atual, a compulsoriedade trará consequências para coletores classificados atualmente como menos eficientes (D e E), pois essas faixas tiveram maior elevação que a elevação da  $PME_e$  obtida nos ensaios. Seguindo o mesmo raciocínio, se for mantida a tendência observada nos ensaios, a compulsoriedade também poderá ser importante para coletores classificados atualmente como mais eficientes (A e B), pois essas faixas tiveram menor elevação que a elevação da  $PME_e$  obtida nos ensaios.

Em resumo, a posição relativa dentro da classe atual pode ter um efeito significativo na nova classificação. Coletores B com índice  $PME_e$  próximos aos limites superiores de sua classe de eficiência estarão sujeitos à melhora na classificação. De forma semelhante, coletores D e E com índice  $PME_e$  próximos aos limites inferiores de sua classe de eficiência estarão sujeitos à queda na classificação.

Observou-se também que, especial atenção deve ser tomada com o fator de correção do ângulo de incidência. Foi verificado que no programa compulsório o  $K_0$  terá menos influência no resultado do que no programa voluntário atual. Uma elevação de 0,2 no coeficiente b do modelo do  $K_0$  resultou em uma redução média de 1,6 e 4,9 kWh/m<sup>2</sup>.mês na  $PME_e$  pela regra nova e atual, respectivamente. Isto é, a  $PME_e$  reduziu 3 vezes menos no método novo se comparado ao atual, ao se elevar o coeficiente b em 0,2. Mesmo assim, um cuidado especial deve ser tomado na determinação do parâmetro a ser usado nas análises, pois seu efeito no resultado ainda será significativo.

Por fim, o estudo tornou evidente que o aproveitamento dos resultados de eficiência do método atual para o método novo deve ser tomado com cautela. De fato, é difícil prever a “nova” classificação, sem que efetivamente um novo ensaio seja realizado. É possível que um coletor mantenha, reduza ou até eleve sua classe de eficiência conforme sua classificação atual e conforme sua posição dentro da classe.

### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido do Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) em particular do Centro Tecnológico do Ambiente Construído (CETAC) no sentido de fornecer a estrutura laboratorial para a realização deste trabalho. Agradecem também aos fabricantes que cederam os exemplares dos coletores solares ensaiados.

### REFERÊNCIAS

- ABNT, 2009. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15747-2 - Sistemas Solares Térmicos e Seus Componentes - Coletores Solares Parte 2 - Métodos de Ensaio, Rio de Janeiro.
- Assafin D., 2012. PBE Solar: Novos requisitos em consulta pública, Apresentação, Workshop: Programa Brasileiro de Etiquetagem, IPT, São Paulo.
- ASHRAE, 2003. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. ASHRAE 93-2003 - Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, Atlanta.
- Caixa Econômica Federal, 2013. Programa Minha Casa Minha Vida, <http://www.mcmv.caixa.gov.br/>.
- CertificaSol, 2013. Orientação para Certificação Compulsória de Equipamentos para Aquecimento Solar de Água, <http://www.certificasol.com.br/>.
- CEN, 2006. European Committee for Standardization. EN 12975 – Thermal Solar Systems and Components – Solar Collectors, Bruxelas.
- CEN, 2006. European Committee for Standardization. EN 12976 – Factory Made Systems, Bruxelas.

- DASOL, 2012. Departamento Nacional de Aquecimento Solar – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Apresentação: Perspectivas do mercado de Aquecimento Solar e Desenvolvimento tecnológico, <http://www.dasolabrava.org.br/>.
- D. Rojas et al., 2008. Thermal Performance testing of flat-plate collectors, Solar Energy, vol. 82, pp. 746-757.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- ESTIF, 2013. European Solar Thermal Industry Federation. Solar Thermal Markets in Europe – Trends and Market Statistics 2012. Bruxelas.
- FSEC, 2005. Florida Solar Energy Center. FSEC Standard 105-05 – Solar Thermal System and Components Test Protocols, University of central Florida, Cocoa, Florida.
- Inmetro, 2006. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Regulamento Específico para Uso da Etiqueta nacional de Conservação de Energia - Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água, RESP-006-SOL, de 3 de Agosto de 2005, Rio de Janeiro.
- Inmetro, 2008. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Regulamento de Avaliação de Conformidade de Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água, Portaria do Inmetro nº 395, de 10 de Novembro de 2008, Rio de Janeiro.
- Inmetro, 2011. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Requisitos Gerais de Certificação de Produtos, Portaria do Inmetro nº 361, de 6 de Setembro de 2011, Rio de Janeiro.
- Inmetro, 2013. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Orientações gerais para fabricantes e importadores sobre a regulamentação de Equipamentos para aquecimento solar de água, Guia, Rio de Janeiro.
- Inmetro, 2013. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Regulamento Técnico da Qualidade para Equipamentos de Aquecimento Solar de Água, Portaria do Inmetro nº 301, de 14 de Junho de 2012, Rio de Janeiro.
- Inmetro, 2013. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Requisitos de Avaliação da Conformidade para Equipamentos para Aquecimento Solar de Água, Portaria do Inmetro nº 352, de 6 de Julho de 2012, Rio de Janeiro.
- Inmetro, 2013. Tabelas de consumo/eficiência energética do Programa Brasileiro de Etiquetagem do Inmetro, <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>.
- ISO, 2013. International Organization for Standardization. ISO 9806:2013 – Solar Energy – Solar Thermal Collectors – Test Methods, Genebra.
- Prefeitura do Município de São Paulo, 2008. Decreto nº49.148 de 21 de Janeiro de 2008. Instalação de sistema de aquecimento solar de água nas novas edificações do Município de São Paulo. São Paulo.
- Solar Keymark, <http://www.solar-rating.org/index.html/>.
- Solar Rating and Certification Corporation, <http://www.estif.org/solarkeymarknew/press-room/solar-keymark-certification>.

## MANDATORY CERTIFICATION OF SOLAR THERMAL SYSTEMS IN BRAZIL: EFFECTS OF THE NEW TEST METHOD IN THE EFFICIENCY RATING OF COLLECTORS

***Abstract.** Certification of solar thermal systems will be mandatory in Brazil after July 2014. This implies new management efforts and technical products requirements. For solar collectors, it will be adopted a new efficiency test method and the efficiency index calculation procedure will change as well. This will bring significant changes in the way of expressing the efficiency and in the rating of the collector efficiency class. This classifies the collector from A to E according to efficiency and has particular relevance to the national solar thermal industry. This work discusses the regulatory transition and conducts an experimental study using IPT solar simulator to test three types of flat plate solar collectors according both to the new method (NBR 15747) and to the current method (ASHRAE-93). Results showed an average rise of 5.6 kWh/m<sup>2</sup>.month in the efficiency index (PMEe) used to classify the collectors and an average rise of 4.4% in the collectors average efficiency, from the current to the new rule. As the efficiency class boundaries determined by Inmetro also increased, the collectors tested maintained their current classes, but the relative position within the classes changed. In the transition, the minimum efficiency index levels growth is greater for the lower classes than for the high classes (3.3 and 11.3 kWh/m<sup>2</sup>.month for A and E classes, respectively), although PMEe determined experimentally showed similar growth regardless of the current efficiency level. This may impose more difficulties to less efficient products and can also cause improvements in the classification for current well classified products. Finally, the work highlighted the incidence angle modifier as a critical point for the final result. It was shown that although its effect was reduced in the mandatory program, this parameter still remains significant for the analysis.*

**Key words:** Solar Collector, Voluntary Labelling, Mandatory Certification, Energy Efficiency.