

# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UM COLETOR HÍBRIDO TÉRMICO FOTOVOLTAICO PARA DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL

Crissiane Alves Ancines – ancines@mecanica.ufrgs.br

Crisciele Ferreira dos Santos – criscieleferreira@gmail.com

Arno Krenzinger – arno.krenzinger@ufrgs.br

LABSOL/PROMECC, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## 4.7 PVT – coletores e sistemas híbridos térmico fotovoltaicos: tecnologias e aplicações

**Resumo.** A conversão de energia solar para energia térmica ou elétrica está cada vez mais presente na matriz energética mundial. O estudo envolvendo essas fontes vem crescendo diante deste cenário atual. O coletor híbrido térmico fotovoltaico é uma tecnologia que converte radiação solar em energia térmica e energia elétrica, simultaneamente. Basicamente esses coletores são compostos pela superposição de um módulo fotovoltaico a um coletor solar de placa plana. Esses coletores híbridos, normalmente, têm sua eficiência térmica inferior ao de um coletor solar de placa plana, ao contrário da sua eficiência elétrica que é maior comparado a um módulo fotovoltaico convencional. Para analisar sua aplicação em diferentes regiões do país, com incidência solar distintas, no presente trabalho foi simulado, em programas desenvolvidos no Laboratório de Energia Solar da UFRGS, o comportamento dos dois sistemas separadamente. Os resultados são apresentados quantitativamente e produzidos pelas simulações. Com isso foi possível observar o desempenho de um coletor híbrido térmico fotovoltaico em diferentes cidades do Brasil.

**Palavras-chave:** Coletor Híbrido Térmico Fotovoltaico, Energia Térmica, Energia Elétrica.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de sistemas de conversão da energia solar em energia térmica ou elétrica, apresentam grande aplicabilidade e crescimento no Brasil. O Ministério de Minas e Energia - MME (2017) apresentou a estimativa de aumento da capacidade instalada de geração solar no Plano de Expansão de Energia - PDE 2024 para 8300MW em 2024, sendo 7000 MW de geração centralizada e o restante de geração distribuída, o que revela o crescimento deste tipo de fonte de energia para a matriz brasileira. A energia solar pode ser convertida em energia elétrica utilizando-se painéis solares fotovoltaicos e também pode ser convertida em energia térmica aplicando o uso de coletores solares térmicos.

Para instalar estas tecnologias é necessário dispor de um espaço que garanta a incidência de irradiação solar nos dispositivos de conversão, portanto a escolha de qual opção de dispositivo a se utilizar fica restrita a existência de uma área favorável. Além disso, devido à configuração das grandes metrópoles, com extensas áreas ocupadas por edificações, tem-se cada vez mais restrição no espaço das áreas com incidência de radiação solar. Acrescenta-se a isso o fato dessas áreas terem um maior contingente de potenciais usuários dos sistemas alternativos de conversão de energia.

Para os painéis solares fotovoltaicos tem-se uma eficiência elétrica da célula de 5-25% (Aste *et. al.*, 2014). Uma parte da radiação solar é convertida em calor que pode resultar em um aumento da temperatura de trabalho das células fotovoltaicas, o que por sua vez ocasiona duas consequências indesejáveis: redução da sua eficiência elétrica (para células de silício cristalino 0,4%/°C de perda de eficiência) e danificação estrutural do painel em caso de estresse térmico prolongado (Chow, 2010).

Os coletores híbridos térmico fotovoltaicos, comumente denominados PV/T (*photovoltaic/thermal hybrid solar system*), contornam as limitações de perda de eficiência elétrica, referente ao aumento de temperatura, ao apresentar em sua configuração um elemento para circulação de um fluido que arrefece o módulo, por sua face posterior. O gradiente de temperatura do painel e do fluido, geralmente a água, resulta em uma transferência de calor que resfria o coletor PV/T e, consequentemente, aquece a água, que pode ser aproveitada em aplicações que se necessitem de energia térmica.

Além disso, existe a vantagem referente à redução do espaço ocupado por esta tecnologia, já que ela apresenta a capacidade de entregar ao usuário energia elétrica e térmica sem a necessidade de empregar dois dispositivos diferentes. O PV/T é constituído basicamente de um módulo fotovoltaico, com um sistema de serpentina acoplado na sua parte posterior, isolamento na parte posterior, caixa, uma moldura e uma lâmina posterior para fechar o sistema, conforme pode ser observado na Fig. 1.

O presente trabalho apresenta um estudo do desempenho do coletor híbrido térmico fotovoltaico para três regiões distintas do Brasil: Nordeste, Centro-Oeste e Sul. Para tal, utilizaram-se *softwares* desenvolvidos no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSOL-UFRGS). Com isso buscou-se analisar o comportamento de um coletor híbrido térmico fotovoltaico e comparar seu funcionamento qualitativamente a um coletor de placas planas e um módulo fotovoltaico, para diferentes regiões que apresentam diferentes incidências de irradiação anual.

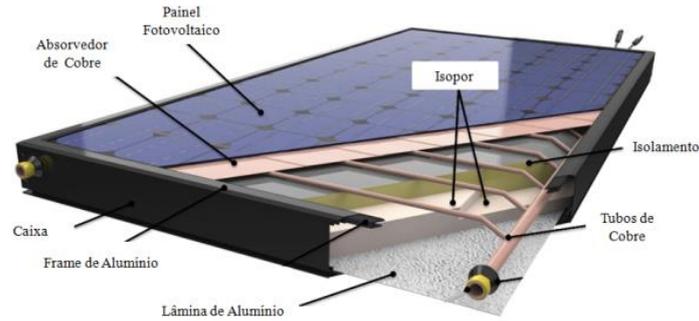


Figura 1- Configuração básica de coletor híbrido térmico fotovoltaico. (Adaptado de: [www.solarchoice.net.au](http://www.solarchoice.net.au))

## 2. METODOLOGIA

Em Ancines (2016) comparou-se experimentalmente o desempenho de um coletor híbrido térmico fotovoltaico comercial, com o desempenho térmico e elétrico de um coletor de placa plana e um módulo fotovoltaico, respectivamente. O coletor térmico de placa plana tem área de abertura igual a 0,80 m<sup>2</sup>, com parâmetros de  $F'(\tau\alpha)_e = 0,612$  e  $F'U_L = 7,531$ . O coletor PV/T tem área de 1,56 m<sup>2</sup>, parâmetros de  $F'(\tau\alpha)_e = 0,220$ ,  $F'U_L = 3,968$  e potência máxima de 242,20 W. Por meio dos resultados obtidos no trabalho citado, pode-se verificar o comportamento térmico e elétrico do PV/T utilizado. Para uma análise de forma quantitativa, da energia térmica e fotovoltaica foi utilizado *softwares* desenvolvidos no LABSOL, para a aplicação de um coletor híbrido térmico fotovoltaico para diferentes regiões do Brasil com os dados já encontrados para o PV/T.

### 2.1 Quantidade de energia térmica

Coletores solares de placa plana são basicamente sistemas que convertem a radiação solar em energia térmica e isso proporciona ao fluido de trabalho (água ou ar) um aquecimento. A parte térmica de um coletor híbrido térmico fotovoltaico pode ser relacionada, aproximadamente a de um coletor de placa plana, para tal é possível obter-se a energia térmica convertida com base na eficiência do PV/T e na irradiância solar que atinge o plano do módulo, tal relação é apresentada pela Eq. (1) (Duffie e Beckman, 2013).

$$\eta_T = \frac{Q_u}{G_T A_C} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{G_T A_C} \quad (1)$$

na qual  $\eta_T$  é a eficiência térmica do PV/T em função da temperatura de entrada do coletor,  $Q_u$  é a potência útil, W,  $A_C$  é a área do coletor, m<sup>2</sup>,  $G_T$  é a irradiância solar total no plano do coletor, W/m<sup>2</sup>,  $\dot{m}$  é a taxa mássica do fluido, kg/s,  $C_p$  é o calor específico, J/kgK e  $\Delta T$  é a diferença entre a temperatura de entrada e a temperatura ambiente.

A irradiância no plano do coletor é obtida através de dados de irradiação solar horária produzidos pelo *software* RADIASOL2 (Krenzinger e Bugs, 2010) a partir da irradiação em média mensal extraída do Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira, et al, 2017), já a eficiência é obtida na caracterização do coletor híbrido térmico fotovoltaico, em Ancines (2016). Assim para cada região do estudo foram obtidos os resultados de incidência de irradiação de acordo com o ângulo de inclinação recomendado para cada cidade. Os valores correlacionados aos dados de irradiação horária durante um ano foram obtidos para a cidade de São Borja - RS, Belo Horizonte - MG e Natal - RN.

Um fator denominado como fator de remoção de calor ( $F_R$ ) é definido, matematicamente, como a razão entre a energia útil real extraída pelo coletor e a energia útil que poderia ser retirada, se toda superfície absorvedora estivesse à temperatura de entrada do fluido, indicado na Eq. (2). Esse fator equivale a quantidade eficaz de um trocador de calor convencional, que é definido como a razão entre a transferência de calor efetiva e a transferência de calor máxima possível.

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p (T_s - T_e)}{A_C [S(\tau\alpha)_e - U_L (T_e - T_a)]} \quad (2)$$

na qual  $\dot{m}$  é a taxa mássica do fluido, kg/s,  $C_p$  é o calor específico, J/kgK,  $T_s$  é a temperatura do fluido na seção de saída do coletor, °C e  $T_e$  é a temperatura na seção de entrada, °C.

O  $F_R$  multiplicado pelo ganho de energia na condição descrita é igual ao ganho útil de energia. Desta forma, para uma radiação solar com incidência normal ao plano do coletor, a energia absorvida por este é dada pela Eq. (3).

$$Q_u = A_C F_R [S - U_L (T_e - T_a)] \quad (3)$$

A radiação solar absorvida pelo coletor ( $S$ ) é definida como o produto da irradiância solar total no plano do coletor e o produto da transmitância-absortância efetiva, definida pela Eq. (4).

$$S = G_T(\tau\alpha_a)_e \quad (4)$$

na qual  $G_T$  é a irradiância solar total no plano do coletor,  $W/m^2$ ,  $\tau$  é a transmitância da cobertura,  $\alpha_a$  é a absortância do absorvedor. O produto eficaz transmitância-absortância pode ser aproximado para coletores com vidro comum por  $(\tau\alpha_a)_e \cong 1,02(\tau\alpha_a)$ .

Portanto, dividindo a energia útil dada pela Eq. (3) pela energia solar incidente no plano do coletor, tem-se na Eq. (5) a eficiência térmica em função da temperatura de entrada.

$$\eta_e = \frac{Q_u}{G_T A_C} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{G_T A_C} = F_R(\tau\alpha_a)_e - F_R U_L \frac{(T_e - T_a)}{G_T} \quad (5)$$

na qual  $\eta_e$  é a eficiência térmica do coletor solar em função da temperatura de entrada do coletor.

Analogamente, a Eq. (5) pode ser descrita considerando a temperatura do absorvedor igual a média aritmética entre as temperaturas nas seções de entrada e saída do fluido no coletor, mostrado na Eq. (6).

$$\eta_m = F'(\tau\alpha_a)_e - F' U_L \frac{(T_m - T_a)}{G_T} \quad (6)$$

na qual  $\eta_m$  é a eficiência térmica do coletor solar em função de  $T_m$ ,  $F'$  é o fator de eficiência,  $T_m$  é a média aritmética das temperaturas do fluido nas seções de entrada e saída do coletor, sendo  $T_m = (T_e + T_s)/2$ .

Se os valores de eficiência térmica  $\eta_m$  e  $\eta_e$  forem representados graficamente em um plano cartesiano versus  $\left(\frac{T_m - T_a}{G_T}\right)$  e  $\left(\frac{T_e - T_a}{G_T}\right)$ , respectivamente, resultará, para cada taxa mássica, em uma reta onde o coeficiente linear é dado por  $F'(\tau\alpha_a)_e$  e  $F_R(\tau\alpha_a)_e$  de acordo com a temperatura utilizada de referência, onde os coeficientes angulares serão, analogamente,  $F' U_L$  e  $F_R U_L$  (Manea, 2012).

## 2.2 Quantidade de energia fotovoltaica

Módulos fotovoltaicos são compostos por células solares que convertem energia solar diretamente em energia elétrica pelo efeito fotovoltaico, a partir de um material semicondutor, usualmente silício. A norma internacional IEC 60904-3, 2008, determina como medir o desempenho elétrico do módulo fotovoltaico nas condições padrão de testes, com valores de irradiância e temperatura das células igual a  $1.000 W/m^2$  e  $25^\circ C$ , respectivamente, assim encontrando a curva característica I-V do módulo fotovoltaico. Esses resultados obtidos da curva indicam os principais parâmetros elétricos que determinam a qualidade e o desempenho dos módulos fotovoltaicos, sendo eles, a tensão de circuito aberto ( $V_{OC}$ ), medida entre os terminais da célula sem circulação de corrente elétrica, a corrente de curto-circuito ( $I_{SC}$ ), medida na célula fotovoltaica quando a tensão elétrica em seus terminais é igual à zero. Essa corrente depende da área da célula, da irradiância solar e de sua distribuição espectral, das propriedades ópticas e da probabilidade de coleta dos pares elétrons-lacuna formados e, fator de forma (FF), a razão entre a máxima potência da célula e o produto da corrente de curto-circuito pela tensão de circuito aberto, definido pela Eq. (7).

$$FF = \frac{V_{MP} I_{MP}}{V_{OC} I_{SC}} \quad (7)$$

no qual  $V_{MP}$  e  $I_{MP}$  é a tensão, V, e a corrente, A, na máxima potência, respectivamente.

Com esses parâmetros definidos pela curva característica é possível obter a eficiência elétrica das células que compõem o módulo fotovoltaico, ou seja, o quão efetivo é o processo de conversão de energia solar em energia elétrica ( $\eta_{el}$ ). Essa eficiência é definida pela Eq. (8).

$$\eta_{el} = \frac{I_{SC} V_{OC} FF}{A G_T} \times 100\% = \frac{P_{MP}}{A G_T} \times 100\% \quad (8)$$

na qual  $A$  é a área da célula, ou do módulo,  $m^2$ ,  $P_{MP}$  é a potência máxima, W, e  $G_T$  é a irradiância solar incidente,  $W/m^2$ .

Além desses parâmetros encontrados a partir da curva característica I-V, sabe-se que a temperatura das células fotovoltaicas também influenciam nos resultados de sua eficiência elétrica. Essa temperatura é a temperatura nominal de cada módulo fotovoltaico obtida quando o mesmo é exposto, em circuito aberto, a uma irradiância de  $800 W/m^2$ , temperatura ambiente de  $20^\circ C$  e uma velocidade do vento incidindo sobre ele de  $1 m/s$ , conhecida geralmente pela sigla NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*). O valor de NOCT normalmente é indicado pelo fabricante e, com seu valor conhecido, pode-se encontrar o valor do coeficiente Kt pela Eq. (9).

$$K_t = \frac{NOCT - 20}{800} \quad (9)$$

no qual  $K_t$  é o coeficiente térmico para o módulo,  $^{\circ}\text{C}/\text{Wm}^2$ , que permite estimar o aumento de temperatura causado pela incidência da radiação solar, quando a velocidade do vento é baixa.

Para um módulo fotovoltaico convencional, sabendo que o seu valor de coeficiente térmico estima-se a temperatura das células em uma determinada condição de temperatura ambiente e irradiância usando a Eq. (10).

$$T_{mod} = T_a + K_t G_T \quad (10)$$

na qual  $T_{mod}$  é a temperatura das células do módulo fotovoltaico,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $T_a$  é a temperatura ambiente,  $^{\circ}\text{C}$ ,  $G_T$  é a irradiância incidente sobre o módulo,  $\text{W}/\text{m}^2$ .

Para o coletor híbrido térmico fotovoltaico comercial utilizado no presente trabalho, a temperatura do módulo que o compõe depende, além da temperatura ambiente e da irradiância, da temperatura de entrada ( $T_e$ ) do fluido que circula na sua parte inferior. Em Ancines, 2016, foi encontrado uma aproximação com os dados medidos ao longo dos testes experimentais do coletor PV/T. Estes dados foram escolhidos com base na temperatura de entrada da água aproximadamente igual a temperatura ambiente e a partir daí, foi estipulado um valor de  $k_t$  para esse mesmo coletor.

Com base nesses valores encontrados, foi simulado o quanto de potência elétrica pode ser produzida aproximadamente no coletor híbrido térmico fotovoltaico e um módulo fotovoltaico convencional, os dois com dados de curva características iguais, durante um ano, nas mesmas três cidades citadas anteriormente do Brasil, utilizando o *software* CREARRAY (Krenzinger e Adams, 2000). Esse *software* foi desenvolvido no LABSOL para simular o desempenho de um painel fotovoltaico sob condições de operação fornecidas manualmente. Essas condições foram impostas pelo mesmo método da parte térmica, onde foram utilizados os mesmos dados meteorológicos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Térmico

A energia térmica foi obtida para valores de irradiação solar incidente no plano do coletor, estabelecidos de acordo com o ângulo de inclinação apresentado para cada cidade na Tab. 1. Como os resultados deste trabalho são comparativos, foi tomada a decisão de utilizar um ângulo de inclinação mais favorável para o aquecimento de água, que tem mais importância no inverno do que no verão. Desta forma, foi utilizada uma inclinação somando  $15^{\circ}$  ao ângulo de latitude. Esta inclinação, entretanto, não é a recomendada para módulos fotovoltaicos convencionais, por isso um segundo ângulo (igual ao da latitude) foi também utilizado.

Tabela 1 – Cidades escolhidas e o ângulo de inclinação utilizado para análise.

CIDADE	Ângulo de inclinação sugerido para térmico (1)	Ângulo de inclinação sugerido para FV (2)
São Borja - RS	$45^{\circ}$	$30^{\circ}$
Belo Horizonte - MG	$35^{\circ}$	$20^{\circ}$
Natal - RN	$20^{\circ}$	$10^{\circ}$

Para a comparação da energia térmica produzida foi utilizada uma temperatura média da água do coletor sempre  $15^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura ambiente. Como os coletores comparados, coletor de placa plana e o coletor híbrido térmico fotovoltaico, têm áreas distintas, a quantidade de energia térmica foi obtida através do somatório de energia convertida ao longo de cada mês em função da área.

Nas Tab. 2 e 3 são apresentados os valores de energia térmica por mês e a média anual, obtidos para o coletor híbrido térmico fotovoltaico e o coletor de placa plana, respectivamente. O coletor híbrido térmico fotovoltaico apresenta valores menores de conversão de energia térmica se comparado ao coletor plano, visto que seus parâmetros são menores, tendo uma eficiência térmica menor. Logo, estes resultados condizem ao esperado.

Nas Fig. 2 e 3 é possível visualizar a diferença entre os resultados encontrados para o ângulo de inclinação sugerido para a conversão térmica e o ângulo de inclinação sugerido para a conversão fotovoltaica. Nota-se que, nos meses de inverno, essa diferença é positiva, já que a soma de  $15^{\circ}$  na latitude de cada cidade favorece essa estação do ano onde o aquecimento térmico da água é de maior relevância.

Tabela 2 - Energia Térmica por mês convertida pelo PV/T.

Energia Térmica Coletor PV/T (kWh/m <sup>2</sup> /mês)						
	Natal (20°)	Belo Horizonte (35°)	São Borja (45°)	Natal (10°)	Belo Horizonte (20°)	São Borja (30°)
Janeiro	17,33	15,50	15,47	19,98	18,65	18,55
Fevereiro	17,49	17,30	15,49	19,43	19,70	17,48
Março	22,21	18,69	15,83	22,82	19,60	16,66
Abril	20,63	19,53	14,86	20,25	18,98	13,96
Maiο	20,51	19,18	12,97	18,79	17,31	12,34
Junho	18,02	19,62	10,67	16,12	16,96	9,14
Julho	18,83	21,44	10,31	17,29	19,01	9,92
Agosto	22,45	24,18	11,92	21,27	22,49	11,83
Setembro	21,76	21,16	13,29	21,96	21,70	13,48
Outubro	20,49	19,04	15,79	21,98	20,54	17,47
Novembro	18,21	14,23	14,28	21,07	16,54	16,84
Dezembro	16,38	15,02	14,71	19,74	17,61	18,18
Média Anual	19,53	18,74	13,80	20,06	19,09	14,65

Tabela 3 - Energia térmica por mês convertida pelo coletor de placa plana.

Energia Térmica Coletor PP (kWh/m <sup>2</sup> /mês)						
	Natal (20°)	Belo Horizonte (35°)	São Borja (45°)	Natal (10°)	Belo Horizonte (20°)	São Borja (30°)
Janeiro	61,80	56,13	56,61	70,34	66,35	66,42
Fevereiro	61,47	61,16	55,73	66,99	67,84	60,60
Março	76,25	65,61	57,26	78,44	68,66	59,26
Abril	71,70	67,84	52,85	70,40	66,26	50,48
Maiο	71,06	67,22	47,42	66,41	61,37	44,83
Junho	63,27	67,80	39,42	57,96	59,78	34,83
Julho	66,25	73,82	38,78	61,84	66,54	37,22
Agosto	77,22	82,35	44,14	74,30	77,17	43,37
Setembro	74,75	73,23	48,20	75,67	74,22	48,78
Outubro	71,97	67,00	57,46	76,28	71,15	62,09
Novembro	64,67	51,85	52,62	72,89	58,90	59,79
Dezembro	59,39	55,20	54,38	69,01	62,27	64,31
Média Anual	68,32	65,77	50,40	70,04	66,71	52,66

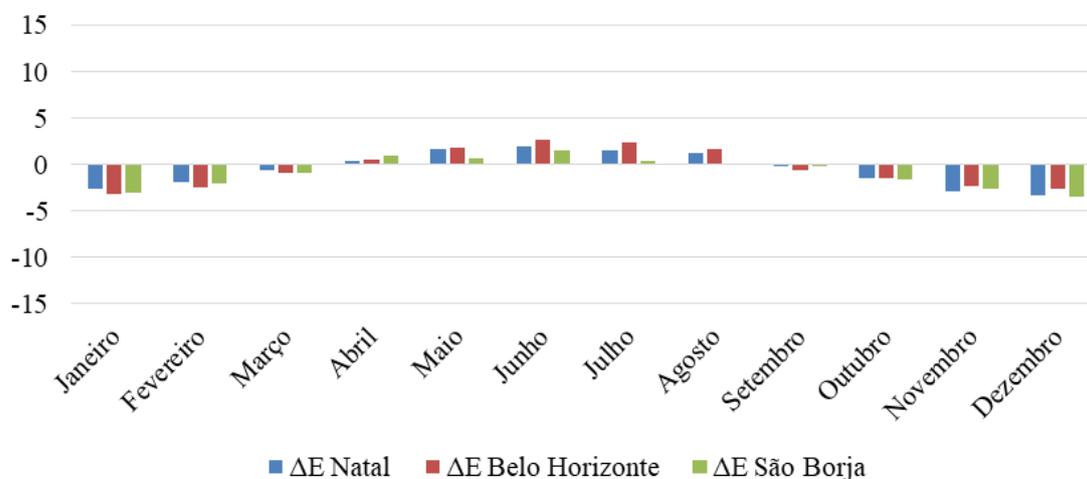
Diferença da Energia Térmica produzida em cada ângulo sugerido no coletor PV/T (kWh/m<sup>2</sup>/mês)

Figura 2 – Diferença da Energia Térmica produzida em cada ângulo de inclinação sugerido do coletor PV/T.

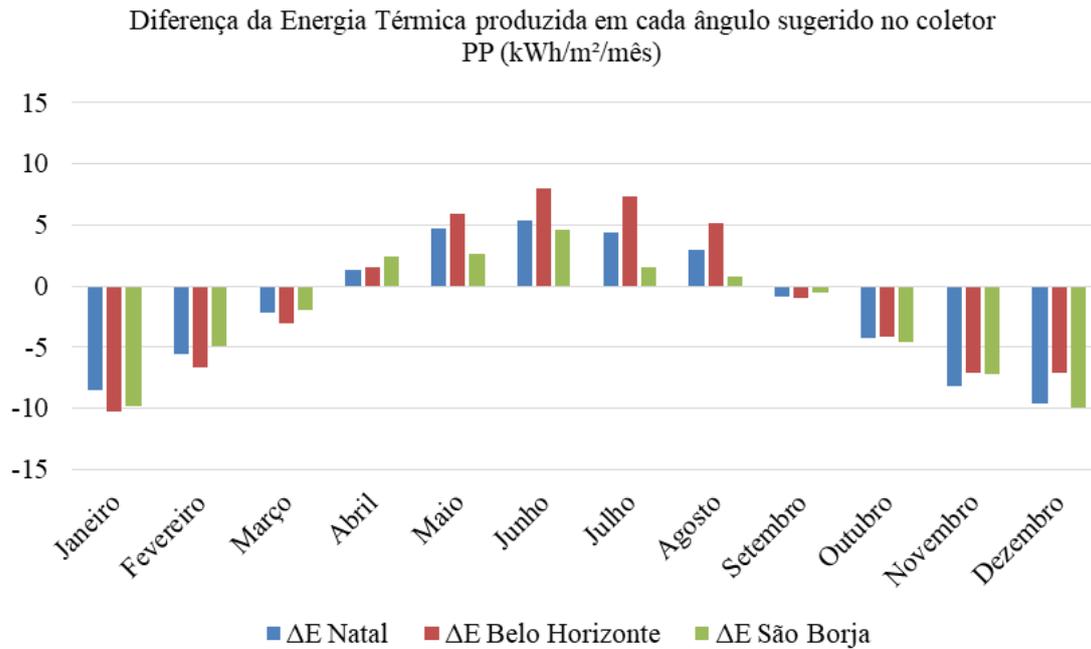


Figura 3 – Diferença da Energia Térmica produzida em cada ângulo de inclinação sugerido do coletor PP.

### 3.2 Elétrico

Os valores das especificações do coletor híbrido térmico fotovoltaico, inseridos no programa *CREARRAY* podem ser visualizados na Fig. 4. Esses valores foram encontrados a partir da obtenção da sua curva característica após ensaios feitos no simulador solar existente no LABSOL conforme norma internacional IEC 60904-3, 2008 (Ancines, 2016).



Figura 4 - Dados do coletor PV/T introduzidos no CREARRAY.

Para o cálculo da temperatura do painel que compõe o coletor PV/T e a temperatura do módulo fotovoltaico convencional foi utilizada a Eq. (10). O valor do coeficiente térmico ( $K_t$ ) é de  $0,0075 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Wm}^{-2}$  e  $0,003125 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Wm}^{-2}$  para o coletor híbrido térmico fotovoltaico (Ancines, 2016) e para um módulo fotovoltaico convencional (FV), respectivamente. O último foi obtido a partir dos dados do fabricante (NOCT de  $45^\circ$ ). Os valores da  $T_{\text{mód}}$  para cada hora do dia, durante um ano, foram também inseridos no programa, junto com os valores de irradiação e temperatura ambiente nas cidades estabelecidas para simulação. Após isso, foram gerados resultados da potência elétrica máxima. Somando esses valores obtidos encontraram-se valores da energia elétrica produzida durante um ano para cada cidade e ângulo de inclinação indicado na Tab. 1. Esses valores estão indicados nas Tab. 4 e 5.

Tabela 4 – Cidades escolhidas e a quantidade de energia elétrica produzida anualmente pelo coletor PV/T para cada ângulo de inclinação.

Energia Elétrica Anual para módulo PV/T [kWh/m <sup>2</sup> ]		
Cidade	Ângulo de Inclinação (1)	Ângulo de Inclinação (2)
São Borja - RS	388,43	389,15
Belo Horizonte - MG	465,95	471,57
Natal - RN	478,98	487,17

Tabela 5 – Cidades escolhidas e a quantidade de energia elétrica produzida anualmente pelo módulo fotovoltaico para cada ângulo de inclinação.

Energia Elétrica Anual para módulo FV [kWh/m <sup>2</sup> ]		
Cidade	Ângulo de Inclinação (1)	Ângulo de Inclinação (2)
São Borja - RS	368,22	372,94
Belo Horizonte - MG	437,91	442,82
Natal - RN	449,84	456,87

Esses resultados mostram que o coletor PV/T produz para cada região, aproximadamente, 6% a mais de energia elétrica, durante um ano, comparando com o módulo fotovoltaico convencional nas mesmas condições a eles impostas. Como esperado, quando os módulos são posicionados no ângulo de inclinação adequado para fotovoltaico (ângulo de inclinação igual à latitude), houve um favorecimento à produção de eletricidade de cerca de 1,5%.

#### 4. CONCLUSÕES

Estudos de coletores híbridos térmico fotovoltaicos estão em crescente desenvolvimento no mundo todo. Esses coletores podem produzir maior quantidade de energia elétrica, visto que a sua eficiência elétrica é maior já que há um arrefecimento. Diante desse fato, foi simulado a partir de dois programas desenvolvidos pelo LABSOL e por resultados obtidos experimentalmente por Ancines (2016) a energia térmica e elétrica do coletor PV/T para três cidades brasileiras localizadas em regiões de condições climáticas distintas. Os resultados encontrados foram comparados com resultados de um coletor de placa plana e um módulo fotovoltaico simulado para as mesmas regiões.

A análise em relação à conversão térmica do coletor PV/T e do coletor PP foi realizada com dados de irradiação obtidos de um *software* de simulação. Os dados indicam a maior energia térmica produzida no coletor de placa plana, isso ocorre devido a maior eficiência térmica deste, já que a irradiação é considerada a mesma para os dois coletores. É observado que a conversão térmica é maior para os ângulos de 10°, 20° e 30°, nos meses mais quentes do ano. Já para os meses de inverno, os resultados para ângulos de inclinação sugeridos para coletores térmicos, há uma maior produção de energia térmica nos dois coletores. Esses resultados nos meses mais frios do ano eram esperados, pois é nesse período que há uma maior necessidade de água aquecida.

Já para a relação da conversão elétrica, os resultados demonstraram um aumento considerável de energia elétrica produzida pelo coletor híbrido térmico fotovoltaico na cidade de Natal, comparado com a cidade de São Borja. Isso era esperado, já que a primeira cidade tem uma incidência de radiação maior que a segunda. Comparando os resultados entre o coletor PV/T e o módulo fotovoltaico para cada região, a diferença, independente da cidade, é basicamente a mesma.

Baseando-se nos resultados das conversões tanto térmica quanto elétrica, a aplicação do coletor PV/T pode ser de mais utilidade em regiões com climas semelhantes à cidade de Natal. Termicamente, esse coletor híbrido não apresenta melhorias significativas mesmo com maior incidência solar, pois a quantidade de energia térmica ainda é pequena comparada com a conversão de um coletor de placa plana convencional. Por outro lado, em regiões como essas, não são exigidas temperaturas tão altas para o consumo diário como, por exemplo, em dias de inverno na região Sul. Em relação à conversão elétrica dos coletores PV/T, esse cenário se confirma, já que comparado com regiões de menor incidência solar, o coletor gera maior quantidade de energia elétrica durante um ano, o que torna mais vantajosa a sua aplicação em regiões do Nordeste brasileiro.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro em auxílio à pesquisa e em bolsas por parte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). O LABSOL é um laboratório associado ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT - EREEA).

## REFERÊNCIAS

- Ancines, C. A., 2016. Comparação entre o Desempenho de um Coletor Híbrido Térmico Fotovoltaico com o de um Coletor Plano e um Módulo Fotovoltaico Convencional, Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Aste N., Del Pero C., Leonforte F., Water flat plate PV-thermal collectors: A review. Solar Energy 102, p. 98-115, 2014.
- Blasques, L. C. M., Vale, S. B., Pinho, J. T., 2007. Sistema Solar Fotovoltaico para Geração de Eletricidade na Estação Científica Ferreira Penna do Museu Paraense Emílio Goeldi, Caxiuana – Pará, I CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza.
- Burger, B., Rüther, R., 2006. Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature, Solar Energy, vol. 80, n. 1, pp. 32-45.
- Chow, T. T. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. Applied Energy, v. 87, Issue 2, p. 365-379, February 2010.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- Krenzinger, A.; Adams, T. R., 2000. CREARRAY – Programa de Análise de Sistemas Fotovoltaicos. Laboratório de Energia Solar – PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Krenzinger, A. e Bugs, R. C., 2010. RADIASOL2: Software para sintetizar dados de radiação solar. IV Conferência Latino Americana de Energia Solar (IV ISES CLA) e XVII Simpósio Peruano de Energia Solar (XVII –SPES), Cuzco.
- MME, Ministério de Minas e Energia. Boletim mensal de monitoramento do setor elétrico – julho de 2017. Brasília: MME, 2017.
- Oliveski, R. C., 2000. Análise Numérica e Experimental dos Campos de Temperatura e Velocidade em Armazenadores Térmicos, Tese de Doutorado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.

### ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF A PHOTOVOLTAIC THERMAL HYBRID COLLECTOR FOR DIFFERENT REGIONS OF BRAZIL

**Abstract.** *The conversion of solar energy to thermal or electric energy is increasing in the world energy matrix. The importance of the study involving these sources has been growing in the face of this current scenario. The hybrid photovoltaic thermal collector is a technology that converts solar radiation into both thermal and electric energy simultaneously. Basically these collectors are composed by the superposition of a photovoltaic module to a flat plate solar collector. These hybrid collectors typically have their thermal efficiency lower than that of a flat plate solar collector, as opposed to their electrical efficiency which is higher compared to a conventional photovoltaic module. To analyze its application in different regions of Brazil, with different solar irradiation, in the present work we simulated the behavior of the collectors. For the computer simulation we used software developed in the Solar Energy Laboratory of UFRGS. The results are presented quantitatively as results of the simulations, showing different performance of the hybrid photovoltaic thermal collector in the analyzed Brazilian cities.*

**Key words:** *Photovoltaic Thermal Hybrid Solar Collector, PVT performance.*