

# DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO FOTOVOLTAICO CONCENTRADOR ESTÁTICO COM ALTA CONCENTRAÇÃO ÓPTICA

Tiago Cassol Severo, Izete Zanescio e Adriano Moehlecke

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS

Faculdade de Física – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais

Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 96A - Porto Alegre - RS – CEP: 90619-900 - Brasil

[tcassol@pucrs.br](mailto:tcassol@pucrs.br)

**Resumo:** A produção de energia elétrica a partir da conversão da energia solar é uma forma de produção de energia limpa e possibilita um desenvolvimento auto-sustentável. Entretanto, uma maior difusão das aplicações é limitada, pois todo o investimento é inicial. Uma das linhas de pesquisa seguidas é a redução do custo, a partir da inserção de sistemas ópticos refletivos associados às células solares. Neste artigo é apresentado o desenvolvimento do módulo fotovoltaico concentrador estático HELIUS-33X, desenhado para sistemas fotovoltaicos autônomos. As células solares são bifaciais e estão instaladas na abertura de entrada. Além disso, é apresentado um novo método de desenho de sistemas ópticos lineares, utilizando a óptica não formadora de imagem. Estabeleceu-se que a resposta do módulo ao longo do ano é aproximadamente constante, para um ângulo de inclinação de 48°, em Porto Alegre, RS. Para o desenvolvimento do sistema óptico do módulo HELIUS-33X utilizaram-se ferramentas computacionais e de desenho e a óptica não formadora de imagem. A forma do sistema óptico foi desenhada a partir de pequenas partes, com dimensões da ordem de 0,5 cm. Foi calculada a orientação das pequenas superfícies refletoras e, posteriormente, com o auxílio do Corel Draw foi formado o sistema óptico. A concentração geométrica é igual a quatro e as concentrações ópticas variam de 1,0 até 2,2. O módulo concentrador estático HELIUS-33X apresenta aumentos de energia da ordem de 19% nos meses de verão e de 46% para épocas do ano em que a radiação é menor. Desta forma, a resposta é aproximadamente constante ao longo do ano e enquadra-se com a demanda energética típica de um sistema fotovoltaico autônomo.

**Palavras chave:** energia solar, módulos fotovoltaicos concentradores, sistemas fotovoltaicos autônomos.

## 1. Introdução e objetivos

Com o aumento da demanda energética e a preocupação com a preservação do meio ambiente cada vez mais presentes, surge a necessidade de uma fonte de energia inesgotável e não poluente para suprir a sociedade. Considerando que as principais fontes de energia não são renováveis e são poluentes, as tendências estão voltadas para fontes alternativas e renováveis, como a solar e a eólica. Estas tecnologias apresentam os requisitos acima citados, além de serem promissoras auxiliares aos sistemas convencionais da matriz energética (Luque, 1989; Lorenzo, 1994).

Em especial, a tecnologia associada a conversão de energia solar em elétrica, denominada energia solar fotovoltaica, tem mostrado resultados significativos em suas aplicações por ser compacta, necessitar pouca manutenção e possuir uma fonte abundante e limpa (Luque, 1995). A abundância de energia provinda do Sol é mostrada pelos valores coletados em medidas experimentais, sendo que a Terra recebe até 1000 W/m<sup>2</sup> em sua superfície em dias de céu limpo e próximo ao meio dia (Basso, 1980; Duffie, 1980). Se um aproveitamento adequado e em grande escala fosse utilizado, seria possível sanar o problema energético sem prejudicar o meio ambiente e a humanidade.

Entretanto, o problema que limita a expansão das aplicações da energia solar fotovoltaica é puramente econômico, pois necessita de todo o investimento inicialmente, mas dispensa qualquer taxa de pagamento após a instalação. Neste sentido, as pesquisas nesta área centram-se no desenvolvimento de dispositivos cuja razão entre energia produzida e custo seja elevada. Uma linha de pesquisa adotada para a solução deste problema é a concentração de radiação sobre as células solares através de um sistema óptico (Luque, 1989; Lorenzo, 1994). A finalidade é diminuir a área de células solares, a partir da inserção de um sistema óptico, concentrando uma maior quantidade de radiação solar sobre os dispositivos. A menor área de células solares produz uma redução significativa no custo do módulo fotovoltaico, pois o valor da célula solar é superior ao do sistema óptico (Luque, 1989; Lorenzo, 1994; Zanescio, 2000).

Este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento teórico de um novo módulo concentrador estático de alta concentração óptica, projetado a partir da óptica não formadora de imagens e denominado de HELIUS-33X. Este concentrador utilizará células solares bifaciais, isto é, ativas em ambas as faces e se destinará a sistemas fotovoltaicos autônomos.

## 2. Concentradores estáticos e sistemas autônomos

Vários sistemas fotovoltaicos são implementados a partir de módulos concentradores. Por exemplo, a Universidade Politécnica de Madri em parceria com a BP Solar instalaram 480 kW de módulos concentradores em Tenerife, Espanha (Luque, 1995). O custo da instalação fotovoltaica, com a utilização de concentradores apresentou uma queda de 56% do valor inicial em relação a não utilização de concentradores. Além disso, Boes e Luque projetaram que o custo da energia solar fotovoltaica, se sistemas de concentração forem utilizados, terá seu preço reduzido entre 6 e 8 centavos de dólares por kWh nos próximos anos, isso para uma eficiência de 25% da célula solar e uma produção de módulos de 100 MW/ano (Luque, 1995; Swanson, 2000). A US Department of Energy / Electric

Power Research Institute também realizou estudos nesta área e concluiu que, em 2010, os módulos fotovoltaicos concentradores poderão produzir energia elétrica a 8 ou 9 centavos de dólar por kWh e, em 2020, chegará a marca de 6 a 7 centavos de dólar por kWh (Swanson, 2000). Swanson comparou 10 tipos de concentradores com um módulo convencional e encontrou resultados similares aos citados anteriormente.

Os módulos concentradores são divididos em estáticos e os que seguem o movimento aparente do Sol. Uma das principais características dos módulos fotovoltaicos concentradores estáticos é que não necessitam de nenhuma parte mecânica para seguir o Sol. Isso faz com que sua manutenção seja muito baixa. Também se diferenciam por concentrar parte da radiação solar difusa, além da radiação solar direta incidente na abertura de entrada. Geralmente são associados a células solares bifaciais e, neste caso, é possível obter as maiores reduções no custo da energia produzida. Alguns destes módulos são desenvolvidos para serem utilizados em sistemas fotovoltaicos autônomos e, portanto, apresentam uma concentração variável de radiação solar ao longo do ano, para compensar a variação da radiação solar e apresentar uma resposta aproximadamente constante ao longo do ano.

Uma das principais características dos módulos fotovoltaicos concentradores estáticos é que não necessitam de nenhum mecanismo para seguir o movimento aparente do Sol. Estes módulos, quando desenvolvidos para sistemas autônomos, devem apresentar uma produção variável de energia durante o ano. Isso porque em determinadas épocas do ano há maiores taxas de radiação, como no verão, e menores taxas como no inverno, fazendo que o concentrador seja mais efetivo em épocas de menor radiação e vice-versa.

A finalidade de um sistema fotovoltaico autônomo é proporcionar energia elétrica para uma determinada carga. Por depender diretamente da variação natural da radiação solar, este tipo de sistema está associado a uma certa probabilidade de perda de carga, LLP (Loss of Load Probability) (Klein, 1987; Egidio, 1992), que é definida como a razão entre a energia solicitada pelo usuário e não suprida pelo sistema e a energia total demandada, considerando sempre um período de tempo muito longo, no mínimo dez anos para LLPs de  $10^{-2}$ . Em outras palavras, representa a probabilidade do usuário permanecer sem energia elétrica.

A estrutura básica de um sistema fotovoltaico autônomo resume-se em um conjunto de módulos (subsistema de conversão) e um conjunto de baterias acompanhadas de um regulador (subsistema de armazenamento), como mostra a Fig. (1).



Figura 1. Esquema representando um sistema fotovoltaico autônomo.

### 3. Determinação dos parâmetros ópticos

#### 3.1. Definições

O módulo concentrador estático a ser desenvolvido será constituído de células solares bifaciais, instaladas no plano da abertura de entrada e, portanto, a concentração da radiação solar ocorre somente na face posterior das células. O sistema óptico é linear e concentra a radiação solar de forma variável ao longo do ano, a fim de que a resposta do módulo seja aproximadamente constante ao longo do ano. Desta forma, a energia produzida pelo dispositivo se enquadra com a demanda energética de um sistema fotovoltaico autônomo, também aproximadamente constante ao longo do ano (Zanenco, 2003). O sistema óptico não está preenchido com nenhum material, para evitar o aumento no peso e um maior aquecimento das células solares. A parte interna do sistema óptico está recoberta com uma superfície refletora especular. Este módulo foi denominado de HELIUS-33X.

Para o desenvolvimento do sistema óptico do módulo HELIUS-33X, alguns parâmetros da óptica não formadora de imagem, também denominada de óptica anidólica, devem ser definidos para que sirvam como base para o desenho do sistema óptico. Estes parâmetros são os seguintes: abertura angular, concentração geométrica, fator de intercepção direcional e concentração óptica.

A abertura angular ( $\theta$ ) é o intervalo de ângulos de incidência para os quais a radiação solar incide nas células solares. Para determinar a abertura angular do módulo concentrador a ser desenvolvido é necessário estabelecer o ângulo de inclinação do módulo para um local específico. Neste caso, o módulo concentrador estático foi desenhado para Porto Alegre para um ângulo de inclinação de  $48^\circ$ . Este valor foi determinado em trabalhos anteriores (Zanenco, 1996), sendo o melhor ângulo de inclinação para módulos convencionais que constituem um sistema fotovoltaico autônomo. A otimização do ângulo de inclinação foi realizada a partir de uma base de dados de irradiação solar de dez anos e uma análise de custos do conjunto de módulos para a  $LLP=10^{-2}$ .

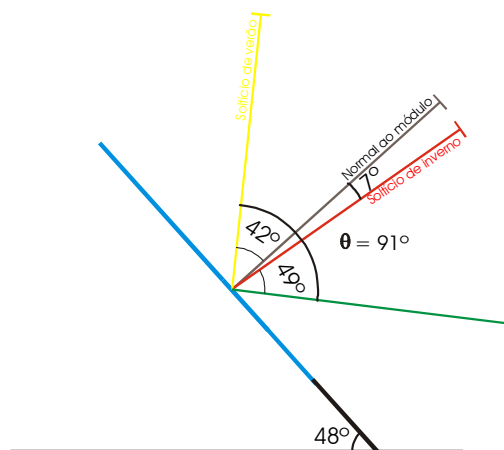


Figura 2. Abertura angular dos raios solares incidentes no concentrador e nas células solar.

Na Figura (2) apresenta-se um esquema mostrando a normal à superfície do módulo concentrador e a posição do Sol, ao meio dia solar, nos solstícios de inverno e verão. A partir deste esquema e excluindo as primeiras horas da manhã e da tarde, onde a quantidade de radiação solar é baixa, foi determinada a abertura angular, sendo esta igual a  $91^\circ$ . Portanto, os raios solares com um ângulo de incidência projetado sobre o meridiano local neste intervalo poderão chegar na face posterior das células solares bifaciais.

A concentração geométrica ( $C_g$ ) é definida pela razão entre a área da abertura de entrada ( $A_e$ ) e a área de células solares ( $A_c$ ), ou seja:

$$C_g = \frac{A_e}{A_c} \quad (1)$$

O fator de intercepção direcional ( $F_i$ ) é definido pela relação entre a quantidade de energia solar que incide na abertura de entrada do concentrador e que alcança as células solares para uma determinada direção dos raios solares. O seu valor varia de zero, quando nenhum raio solar incidente na abertura de entrada chega nas células solares, a um, quando a radiação incidente chega em sua totalidade na célula solar (Luque, 1989; Lorenzo, 1994; Parada, 1992, Benitez, 1998).

A concentração óptica ( $C_{op}$ ) é definida como a razão entre a irradiância incidente nas células solares acopladas ao sistema óptico e a irradiância que receberiam sem sistema óptico (Luque, 1989; Lorenzo, 1994; Parada, 1992, Benitez, 1998). Para este módulo concentrador, pode ser obtida através da multiplicação da concentração geométrica pelo fator de intercepção:

$$C_{op} = C_g F_i \quad (2)$$

Cabe lembrar que a energia produzida pelo módulo é diretamente proporcional a irradiância nas células solares bifaciais e, portanto, a concentração óptica é um dos fatores mais importantes para a análise da resposta do módulo.

### 3.2. Desenvolvimento da metodologia

Por se tratar de um módulo concentrador é importante realizar a análise, a partir de dados horários de irradiação solar. Portanto, para determinar o fator de intercepção diário médio mensal que o módulo concentrador deve ter, para que a resposta seja aproximadamente constante ao longo do ano, foram estimados os valores médios da irradiação horária incidente em uma superfície inclinada de um ângulo de  $48^\circ$  em Porto Alegre, para cada mês do ano. Este valores foram obtidos a partir de uma simulação numérica desenvolvida em um trabalho anterior (Zanesco, 2003). A partir da irradiação diária média mensal sobre um plano horizontal, catalogado na base de dados "International H-World" (1993) e do cálculo da irradiação extraterrestre horizontal diária média mensal (Iqbal, 1983; Duffie, 1980), foi possível determinar os índices de transparência  $K_T$  diários médios mensais. Com estes valores e através do método de Aguiar (Aguiar, 1998), foi possível gerar uma série de índices de transparência diários para dez anos e, então, determinar a irradiação diária global. A partir desta, calculou-se a irradiação horária direta e difusa que incide no plano inclinado (Zanesco, 1996; Lorenzo, 1994; Perez, 1987) e foi realizada a média para cada hora e mês. Para estimar a irradiação difusa sobre uma superfície inclinada foi utilizado o método desenvolvido por Perez. Para exemplificar, na Fig. (3) compraram-se os resultados para o mês em que ocorre o solstício de inverno e de verão. Observa-se que no inverno a irradiação é menor durante todas as horas do dia.

Com estes dados foi possível estabelecer quais as concentrações necessárias para obter uma produção de energia

aproximadamente constante durante o ano. Assim, foi determinado que no inverno o fator de concentração deve ser em média 26% maior que no verão.

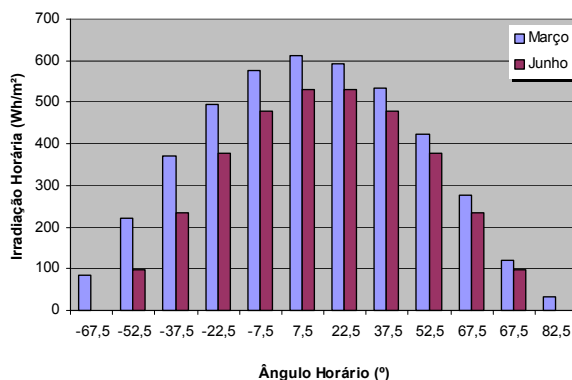


Figura 3. Irradiação horária incidente na superfície inclinada de 48° em Porto Alegre para o mês de junho e para o mês de março.

Para alcançar os níveis de concentração desejados é necessária uma abertura de entrada quatro vezes maior que o tamanho das células solares, com a célula na posição mostrada na Fig. (4). A abertura na parte superior da célula serve para concentrar principalmente os raios solares no meio dia solar no solstício de verão e nas primeiras horas da manhã.

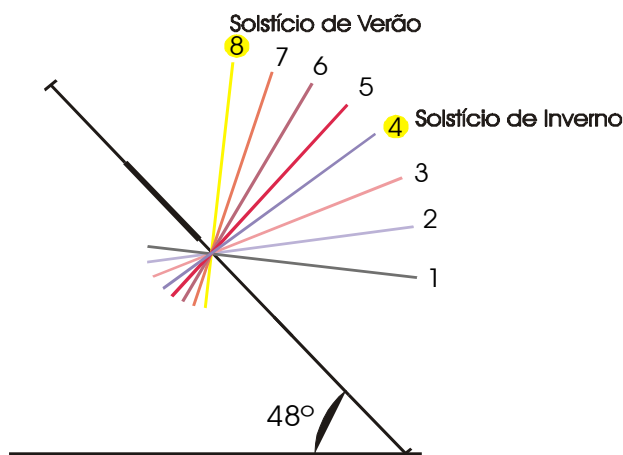


Figura 4. Esquema dos raios solares necessários para desenvolver o sistema óptico do concentrador.

Considerando que as células solares comerciais geralmente são quadradas de 10 cm de lado, estabeleceu-se para o desenvolvimento do sistema óptico que o tamanho das células é de 10cm e, portanto, a abertura de entrada terá uma largura de 40 cm.

#### 4. Desenvolvimento da seção transversal do sistema óptico

Para o desenvolvimento do sistema óptico do módulo HELIUS-33X foi necessário utilizar as leis da óptica não formadora de imagem. Como é um concentrador que se baseia na reflexão especular para a concentração da radiação solar energia, o princípio básico a ser utilizado é o da lei da reflexão.

O princípio da reflexão diz que um raio incidente com um ângulo  $\phi$  em relação à normal a uma superfície especular, reflete o raio com um ângulo igual ao de incidência. Isso é válido para todas as direções e para um número infinito de raios que venham a incidir na superfície. Então, para desenvolver a seção transversal do sistema óptico do módulo, consideraram-se oito raios incidentes projetados sobre o meridiano local e dentro da abertura de entrada, conforme mostra a Fig. (4). Realizou-se uma análise da concentração necessária para cada hora a fim de que a resposta para o mês de inverno fosse similar a resposta para o mês de verão. Estabeleceu-se que a seção transversal é dividida em pequenas superfícies da ordem de 0,5 cm cada uma. Para descobrir qual a orientação de uma determinada superfície, a partir do raio incidente foi determinada a direção do raio refletido para que o mesmo incidisse sobre a face posterior das células solares. Então, foi encontrada a reta que divide o ângulo entre os dois raios ao meio, como ilustra a Fig. (5), ou seja, a normal à superfície. A normal foi rotacionada em 90° para determinar a orientação da superfície.

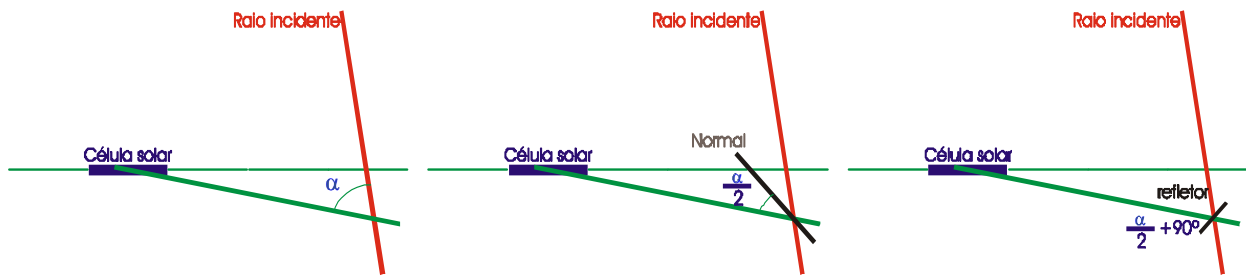


Figura 5. Método desenvolvido para o desenvolvimento do perfil óptico do HELIUS-33X.

Para desenhar a seção transversal do sistema óptico foi necessário um número grande de raios, suficiente para que fosse estabelecida a curva parte por parte. Para cada ângulo de inclinação, os raios incidentes na abertura de entrada foram espaçados a cada 0,5 cm.

Para realizar o desenho da seção transversal foi necessário o uso de ferramentas computacionais. Através do Microsoft Excel foram calculadas as orientações de cada parte da superfície refletora e, então, estas foram desenhadas em Corel Draw.

Estes procedimentos foram repetidos até determinar toda a seção transversal do sistema óptico e o resultado é mostrado na Fig. (6). Concluindo, o módulo HELIUS-33X seria constituído por três tiras de 12 células solares, sendo cada tira associada ao correspondente sistema óptico. A parte superior foi desenhada de tal forma que associadas em série.

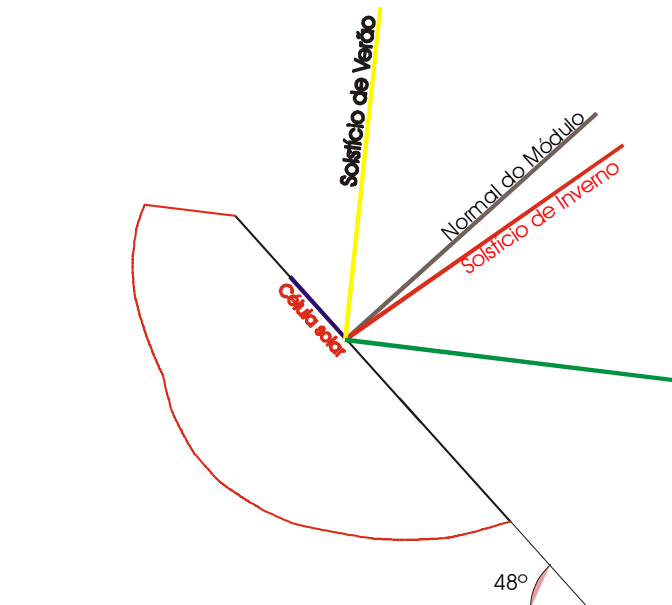


Figura 6. Seção transversal do módulo fotovoltaico concentrador estático HELIUS-33X.

## 5. Análise dos resultados

Para analisar a resposta do módulo HELIUS-33X ao longo do ano e poder compará-lo com um módulo convencional faz-se necessário determinar a concentração óptica. A partir desta, é possível estimar a irradiação solar correspondente a este módulo, a qual é diretamente proporcional a energia elétrica produzida. Como a  $C_{op}$  está relacionada diretamente com a concentração geométrica e com o fator de interceptação direcional, foi necessário desenvolver um método para calcular  $F_i$ , pois a  $C_g$  é conhecida e igual a quatro.

Sabe-se que  $F_i$  varia de zero a um, além de depender da direção dos raios solares. Consideraram-se os raios solares com os ângulos de incidência projetados sobre o meridiano local ( $\theta_{ip}$ ) ilustrados na Fig. (4). Para calcular o fator de interceptação em função de  $\theta_{ip}$ , utilizou-se, quando possível, o princípio dos raios extremos (Winston, 1989) e nas demais situações realizou-se uma varredura com os raios solares incidindo na abertura de entrada, separados de 0,5 cm. Analisou-se a trajetória dos raios solares a fim de verificar a quantidade de raios que chegam na face posterior das células bifaciais. Com os valores de  $F_i$  e  $C_g$  foi calculado o valor da concentração óptica correspondente aos ângulos de incidência projetados sobre o meridiano local, representados na Fig. (4). Os resultados encontrados são apresentados na Tab. (1).

A partir dos valores da concentração óptica é possível estimar a irradiação correspondente ao módulo HELIUS-33X e compará-la com aquela incidente em um módulo convencional com o mesmo ângulo de inclinação. Desta

forma, é possível verificar o aumento relativo de energia do módulo HELIUS-33X em relação a um módulo convencional. Esta análise foi realizada para a irradiação horária média correspondente a cada mês do ano.

Tabela 1. Valor do fator de interceptação direcional ( $F_i$ ) e da concentração óptica ( $C_{op}$ ) em função do ângulo de incidência projetado sobre o meridiano local ( $\theta_{ip}$ ).

Raio	$\theta_{ip}$	$F_i$	$C_{op}$
1	42°	0,25	1,0
2	30°	0,38	1,5
3	18°	0,35	1,4
4	6°	0,25	1,0
5	-7°	0,50	2,0
6	-22°	0,45	1,8
7	-37°	0,53	2,1
8	-49°	0,28	1,1

A irradiação horária total ( $I_T$ ) correspondente ao módulo concentrador HELIUS-33X é calculada a partir da irradiação incidente na face frontal ( $I_F$ ) e na face posterior ( $I_P$ ) das células solares bifaciais, como mostra a Eq. (3).

$$I_T = \left( \frac{I_F}{1 + C_{op}} \right) n + \left( \frac{I_P C_{op}}{1 + C_{op}} \right) n^x \quad (3)$$

O fator  $n$  representa as perdas ópticas, relativas a refletância da superfície refletora e das reflexões no vidro que cobre a abertura de entrada do módulo, sendo  $x$  o número de vezes que o raio solar sofre uma reflexão.

Os valores horários foram somados para obter resultados diários e facilitar a análise. Os resultados encontrados para o módulo HELIUS-33X e um módulo convencional são apresentados na Tab. (2).

Tabela 2. Irradiação diária média mensal correspondente ao módulo HELIUS-33X e a um módulo convencional e aumento relativo da energia produzida pelo módulo concentrador em relação ao módulo convencional, ambos instalados sobre uma superfície inclinada de 48° em Porto Alegre.

Mês	Módulo Convencional (Wh/m <sup>2</sup> )	Módulo HELIUS-33X (Wh/m <sup>2</sup> )	Aumento de energia (%)
Janeiro	4112	4900	19
Fevereiro	4253	5054	19
Março	4166	5677	36
Abril	3362	4318	28
Mai	3739	5431	45
Junho	3303	4819	46
Julho	3873	5513	42
Agosto	3913	5029	29
Setembro	4004	5470	43
Outubro	4323	5867	36
Novembro	4354	5173	19
Dezembro	4276	5096	19

Analisando a Tab. (2), nota-se que a irradiação diária média mensal correspondente ao módulo HELIUS-33X é aproximadamente constante durante o ano e que o aumento da energia produzida é maior nos meses próximos ao solstício de inverno, onde a radiação solar é menor.

## 6. Conclusões

Foi desenvolvido um módulo fotovoltaico concentrador estático, cuja energia produzida durante o ano é aproximadamente, a fim de que se enquadre com a demanda energética típica de sistemas fotovoltaicos autônomos. O sistema óptico foi desenhado a partir da óptica não formadora de imagem e foi necessário desenvolver um novo método de desenho. Para Porto Alegre, RS, a análise da resposta do módulo concentrador revela que a distribuição ao longo do ano da energia produzida é a esperada e que nos meses próximos ao solstício de inverno este dispositivo produz, em média, 44% a mais de energia que um módulo convencional.

## 7. Agradecimentos

T. C. Severo agradece a bolsa de estudos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior). I. Zanesco e A. Moehlecke agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa.

## 8. Referências

- Aguiar. R.J., Collares-Pereira. M., Conde. J.P., 1998, "Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of markov transition matrices" Solar Energy, 40, pp. 269-279.
- Basso, D., 1980, "Desenvolvimento, construção e calibração de radiômetros para a medida da radiação solar". Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Benitez, P., 1998, "Conceptos avanzados de óptica anidólica: diseño y fabricación". Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Madri, Madri.
- Duffie. J. A., Beckman W. A., 1980, "Solar engineering of thermal process". John Wiley e Sons, Nova Iorque. 762p.
- Egido. M., Lorenzo. E., 1992, "The sizing of stand alone PV- systems: a review and a proposed a new method. Solar Energy Materials and Solar Cells, 26, pp. 51-69.
- Iqbal. M., 1983, "An introduction to solar radiation" Academic Press. Nova Iorque. 390p.
- Klein. S.A., Beckman W.A., 1987, "Loss-of-load probabilities for stand alone photovoltaic systems. Solar Energy, 39, pp. 499-512.
- Lorenzo. E., 1994, "Electricidad solar: ingenieria de los sistemas fotovoltaicos. Progensa. Sevilla. 338p.
- Luque, A., 1989, "Solar cells and optics for photovoltaic concentration". Adam Hilger, Bristol and Philadelphia. 531p.
- Luque. A., Sala. G., Araújo. G.L., Bruton T., 1995, "Cost reduction potential of photovoltaic concentration". Int. J. Solar Energy, vol. 17, pp. 179-198.
- Parada, J. I., 1992, "Desarrollo de módulos estáticos de concentración para conversión fotovoltaica". Tese de Doutorado, Universidade Politécnica de Madri, Madri.
- Perez. R. et ali, 1987, "A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. Solar Energy, 39, pp. 221-231.
- Swanson. R.M., 2000, "The promise of concentrators". Progress Photovoltaics Research and Applications, 8, p.93-111.
- Zanesco. I., 1996, "Concentradores estáticos con células bifaciales para sistemas fotovoltaicos autónomos". Tese de Doutorado. Universidade Politécnica de Madri, Madri.
- Zanesco. I., 2000, "Desenvolvimento e análise de módulos fotovoltaicos concentradores estáticos". Relatório Final – Bolsa Produtividade/CNPq. 61p.
- Zanesco. I., 2003, "Redução nos custos de sistemas fotovoltaicos autónomos". Relatório Final – Bolsa Produtividade/CNPq. 89p.

## 9. Copyright Notice

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso incluso neste artigo.

# DEVELOPMENT OF A STATIC CONCENTRATOR PHOTOVOLTAIC MODULE WITH HIGH OPTICAL CONCENTRATION

**Abstract.** *The electrical energy production provided by the solar energy conversion is a way to obtain energy without causing environmental problems. The main disadvantage of this technology is its relative high initial cost when it's compared with conventional resources. One way to overcome this problem is to concentrate the solar radiation on the solar cells by an optical system. The goal of this paper is to present the development of the static concentrator photovoltaic module HELIUS-33X, designed for stand-alone PV systems. The solar cells are bifacial and they are installed in the entry aperture. A new method to design linear optical systems is presented, based on the non-imaging optics. The behavior of the module during the year can be uniform approximately, when the module is slopped 48° in Porto Alegre, RS, Brazil. The computer and design tools and the rules by the non-imaging optics were used to develop the optical system of the HELIUS-33X. The shape of the optical system was designed starting from small parts, with 0.5 cm each one. The orientation of these small parts of the reflector was calculated and, then, the optical system was designed with the software Corel Draw. The module has a geometric concentration of four and the optical concentration varies from 1.0 to 2.2. The increasing of the output energy, when the static concentrator module HELIUS-33X is compared to a standard one, is 19% in the summer and 46% in winter. In this way, the output energy during the year fits in well with a typical load demanded by the user of a stand-alone PV system.*

**Keywords.** *solar energy, concentrator photovoltaic modules, stand-alone PV systems.*