

DISTRIBUIÇÃO DE FLUXO LUMINOSO EM CONCENTRADORES BIDIMENSIONAIS SUBMETIDOS A ERROS ÓPTICOS

Manoel Henrique de Oliveira Pedrosa Filho – manoel@pesqueira.ifpe.edu.br
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Pesqueira

Olga de Castro Vilela – ocv.olga@gmail.com

Naum Fraidenraich – naumfraiden2@gmail.com

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Energia Renovável, Departamento de Energia Nuclear

Resumo. *O conhecimento do perfil de distribuição de energia que incide em um absorvedor de um concentrador solar permite a realização de avaliações de desempenho, de diagnósticos de operação e possibilita a quantificação da energia absorvida. Por outro lado, os concentradores solares não são equipamentos ideais, estão sujeitos aos chamados erros ópticos que podem ser provocados por problemas no rastreamento e deficiências na superfície refletora. Este trabalho utiliza a solução analítica desenvolvida por Fraidenraich et al. (2013) para avaliar a sensibilidade de três geometrias de concentradores solares: calha parabólica com absorvedor plano e com absorvedor cilíndrico e o Fresnel com absorvedor cilíndrico; frente à ocorrência e a intensidade de erros ópticos de rastreamento e à qualidade da superfície refletora. Após as simulações, verificou-se que a qualidade do sistema de rastreamento deve estar ligada à qualidade da superfície refletora para a geometria de concentrador calha parabólica com absorvedor plano e tubular, ou seja, o investimento na qualidade destes sistemas permite elevar a quantidade de energia coletada pelo mesmo. A geometria de concentrador Fresnel com absorvedor tubular é mais imune à ocorrência de erros ópticos e de rastreamento o que permite afirmar que o investimento na qualidade do sistema de rastreamento e do sistema óptico não trará grandes ganhos de energia para o sistema.*

Palavras-chave: *Concentração solar, Concentrador cilindro parabólico, Perfil de distribuição de energia, Erros ópticos.*

1. INTRODUÇÃO

Os concentradores com geometria bidimensional são os elementos principais de plantas termossolares, o conhecimento detalhado sobre a distribuição de fluxo incidente nos absorvedores é essencial durante a fase de projeto do sistema, avaliação de desempenho e diagnóstico de problemas (Price et al., 2002; Alberti et al., 2012; Glenn e Ho, 2012; Reeken et al., 2012). O traçamento de raios é sempre uma opção para a obtenção do perfil de distribuição, porém utiliza extensivamente recursos computacionais quando o objetivo é a realização de estudos de sensibilidade. Soluções analíticas tem sido desenvolvidas especificamente para refletores parabólicos (José, 1957; Simon, 1958; Hassan e El-Refaie, 1973; Evans, 1977; Nicolas e Duran, 1980; Jeter, 1986).

Fraidenraich et al. (2013) desenvolveram uma solução analítica exata para mapeamento do fluxo em absorvedores para qualquer distribuição de brilho solar para as classes principais de concentradores 2D: refletores Fresnel e espelhos parabólicos, por simplicidade, apenas foram tratados casos de apenas uma reflexão nos espelhos.

Por outro lado, o emprego dos concentradores solares requer também a consideração que os elementos ópticos não são ideais, apresentam desvios em sua superfície e problemas de qualidade na reflexão dos raios pela superfície, além de falhas e desalinhamentos das estruturas (espelhos e tubos) durante a montagem, conforme Pedrosa Filho et al. (2013).

Neste trabalho, é apresentada uma breve revisão sobre a solução analítica apresentada por Fraidenraich et al. (2013) com o objetivo de embasar sua aplicação considerando a ocorrência de erros ópticos. Após, brevemente, serão analisadas as influências da ocorrência e intensidade destes erros no perfil da distribuição de brilho e no valor da concentração de fluxo dos concentradores Fresnel com absorvedor tubular, calha parabólica com absorvedor tubular e calha parabólica com absorvedor plano.

2. DISTRIBUIÇÃO DE BRILHO NO ABSORVEDOR DE CONCENTRADORES 2D

Conforme Fraidenraich et al. (2013), o caminho de qualquer raio que incide na abertura do refletor até uma dada posição no absorvedor é expressa por duas coordenadas angulares e uma espacial, e depende basicamente da geometria do espelho refletor, conforme mostram as Fig. 1a, b e c.

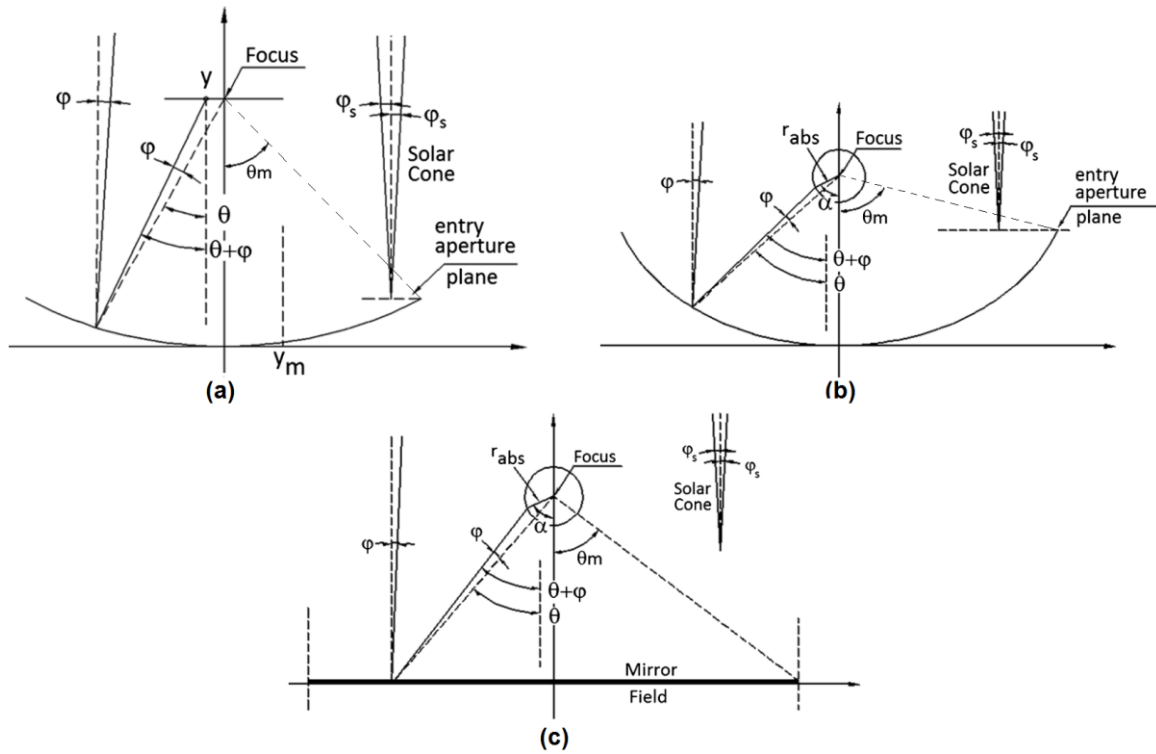


Figura 1 - (a) Calha parabólica com distância focal unitária e absorvedor plano. (b) Calha parabólica com distância focal unitária e absorvedor tubular. (c) Refletor Fresnel com absorvedor tubular e altura do absorvedor até o plano dos espelhos unitária.

A Fig. 1a apresenta a geometria de uma calha parabólica com absorvedor plano, a Fig. 1b apresenta a geometria de uma calha parabólica com absorvedor tubular e a Fig. 1c um concentrador Fresnel com absorvedor tubular. Para estas geometrias, θ representa a posição angular referente ao ponto da superfície refletora que é atingida por um raio identificado por φ dentro do cone solar e reflete este raio até atingir um ponto no absorvedor de raio r_{abs} identificado por sua posição angular α (Fig. 1b e Fig. 1c). Para a situação da Fig. 1a, o raio refletido atinge o absorvedor na posição y . Nesta mesma figura, y_m refere-se à metade do comprimento do absorvedor e θ_m é o ângulo de borda dos concentradores apresentados. A abertura angular do cone de raios incidente é igual a (φ_s) .

Um conjunto de equações foi desenvolvido para relacionar o raio dentro do feixe φ , a posição do refletor atingida pelo raio θ ou x (conforme o caso), e a posição do absorvedor que é atingida pelo raio refletido α ou y (conforme o caso). Denominam-se isolinhas, o lugar geométrico dos pares de pontos $\theta - \varphi$, parametrizados pela posição y ou α na região absorvedora. A Eq. (1) apresenta a função $y = f(\theta, \varphi)$ para a calha parabólica com absorvedor plano e a Eq. (2) e Eq. (3) expressam a função $\varphi = f(\theta, \alpha)$ para a calha parabólica com absorvedor cilíndrico e para o concentrador Fresnel respectivamente. A convenção adotada para os sinais dos ângulos (θ) , (α) e (φ) pode ser verificada em Fraidenraich et al. (2013).

$$y = \text{Sec}(\theta - \varphi) \text{Sec}^2(\theta/2) \text{Sin}(\varphi) \quad (1)$$

$$\tan(\varphi) = \frac{r_{abs} \text{Sin}(\theta - \alpha)}{2 \text{Sec}^2(\theta/2) - r_{abs} \text{Cos}(\theta - \alpha)} \quad (2)$$

$$\tan(\varphi) = \frac{r_{abs} \text{Sin}(\theta - \alpha) \text{Cos}(\theta)}{1 - r_{abs} \text{Cos}(\theta) \text{Cos}(\theta - \alpha)} \quad (3)$$

Conforme Pedrosa Filho et al. (2012), a partir das funções apresentadas nas Eq. (1), (2) e (3), é possível traçar uma representação diagramática de cada uma delas, que permita visualizar o comportamento detalhado dos raios que atingem a região focal do concentrador ou qualquer outro ponto de interesse. Organizado na forma de isolinhas, o diagrama identifica o intervalo de raios que alcançam uma determinada região do absorvedor e também quais regiões da superfície refletora contribuem para esta iluminação.

As Fig. 2a, 2b e 2c apresentam os diagramas de isolinhas dos concentradores calha parabólica com absorvedor plano, calha parabólica com absorvedor cilíndrico e Fresnel com absorvedor cilíndrico, respectivamente, segundo Fraidenraich et al. (2013).

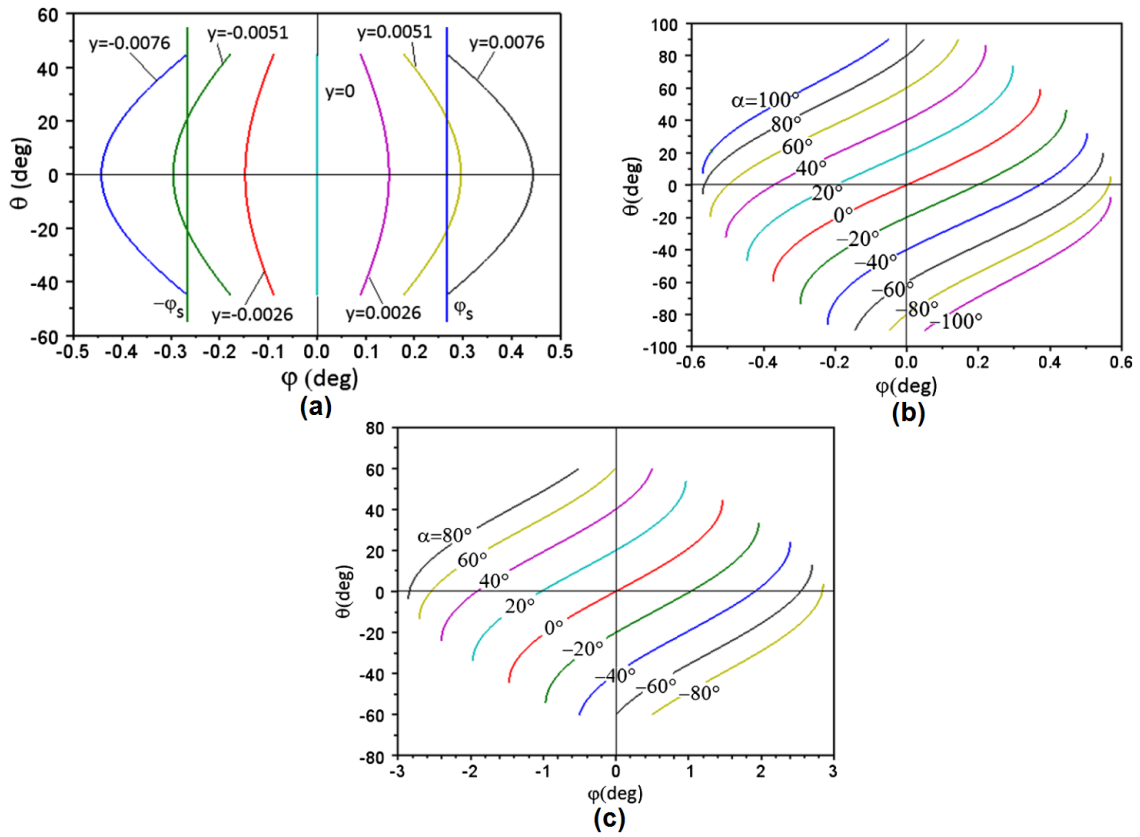


Figura 2 - Diagrama de isolinhas dos concentradores: (a) calha parabólica com absorvedor plano, (b) calha parabólica com absorvedor cilíndrico e (c) Fresnel com absorvedor cilíndrico.
 Fonte: Fraidenraich et al. (2013).

Para a calha parabólica com absorvedor plano que gerou o diagrama da Fig. 2a, $y_m = 0,0076\text{m}$ (tamanho do absorvedor) e $\theta_m = 45^\circ$ (ângulo de borda de concentrador). Os dados da calha parabólica com absorvedor cilíndrico que produziu o diagrama da Fig. 2b são $\theta_m = 90^\circ$ e $r_{\text{abs}} = 0,01\text{m}$ (raio do absorvedor). O diagrama da Fig. 2c para o concentrador Fresnel considera que $\theta_m = 60^\circ$ e $r_{\text{abs}} = 0,05\text{m}$, distância focal e altura do absorvedor em relação ao plano dos espelhos unitária. Neste exemplo o ângulo (φ) varia entre -3 a +3 graus (52 mrad), valor que excede as dimensões habituais do cone solar, determinado basicamente pelas dimensões adotadas, com sentido ilustrativo, para o raio do absorvedor, altura e ângulo de borda.

No diagrama de isolinhas da Fig. 2a, pode-se verificar que cada ponto do absorvedor, representado pelas curvas do gráfico recebe contribuições de raios refletidos ao longo de toda a superfície refletora parabólica, o mesmo não acontece com os diagramas de absorvedores cilíndricos das Fig. 2b e 2c, nestes, apenas partes da superfície refletora iluminam determinados pontos do absorvedor. Nota-se também que a faixa de valores de φ para o concentrador Fresnel é maior que a dos outros dois concentradores, pode-se atribuir esta característica a maior abertura angular do concentrador Fresnel, frente aos outros tipos analisados.

Para se obter a distribuição de fluxo no absorvedor, se faz necessário, para cada ponto, realizar um somatório da contribuição de cada raio φ que o atinge, levando em consideração a intensidade de brilho dentro do cone solar. Para tanto utilizam-se as Eq. (5) e (6).

$$I(y) = \int_{-\theta_m}^{\theta_m} B(\varphi(\theta, y)) \cos(\theta + \varphi(\theta, y)) d\theta \quad (5)$$

$$I(\alpha) = \int_{-\theta_m}^{\theta_m} B(\varphi(\theta, \alpha)) \cos(\theta + \varphi(\theta, \alpha)) d\theta \quad (6)$$

A Eq. (5) permite, para o coletor parabólico com absorvedor plano (Fig 1a), mapear, para cada ponto do absorvedor, a intensidade de radiação incidente (fluxo), indicada por $I(y)$. Nesta equação, $\varphi(\theta, y)$ representa a Eq. (1). Já a Eq. (6) é utilizada para o mapeamento da intensidade de radiação $I(\alpha)$ em cada posição angular do absorvedor cilíndrico dos concentradores parabólicos (Fig. 1b) e Fresnel (Fig. 1c). $\varphi(\theta, \alpha)$ representa a Eq. (2) para o concentrador parabólico e a Eq. (3) para o Fresnel.

Nas Eq. (5) e (6), $B(\varphi)$ representa a função angular da intensidade de brilho do cone solar, resultado da convolução apresentada por Bendt et al. (1979), Eq. (7), que permite a determinação da forma efetiva do sol como sendo uma convolução entre a distribuição de probabilidade dos desvios, $E(\varphi - \varphi_{in})$ e o brilho do Sol, $B(\varphi_{in})$. O ângulo φ_{in} refere-se a um raio qualquer dentro do cone solar. Os efeitos dos desvios sobre o perfil do brilho do Sol são discutidos mais detalhadamente por Pedrosa Filho et al. (2013).

$$B_{eff}(\varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} E(\varphi - \varphi_{in}) \cdot B(\varphi_{in}) \cdot d\varphi_{in} \quad (7)$$

Na Eq. (7), $E(\varphi - \varphi_{in})$ representa a distribuição de probabilidade dos desvios ópticos, tratada por uma distribuição normal com média nula e desvio padrão σ que considera o efeitos dos diversos tipos de erros ópticos presentes em um concentrador solar. A distribuição mede a densidade de probabilidade de encontrar um raio que incide com ângulo (φ) na superfície concentradora.

Os desvios ópticos ou erros ópticos são imperfeições nos elementos que compõem o concentrador, que produzem alterações na formação da imagem no absorvedor. Dois tipos de desvios ópticos podem ser distinguidos: estocásticos ou randômicos e determinísticos. Segundo Guven e Bannerot (1986), os desvios estocásticos ou randômicos são causados pela mudança do tamanho do Sol decorrente de mudanças na distância entre Terra e Sol, efeitos atmosféricos (σ_{sol}), e efeitos de espalhamento associados ao material óptico utilizado ($\sigma_{rugosidade}$). Também estão associados a distorções variáveis da geometria da superfície refletora ($\sigma_{geometria}$) e ao desalinhamento variável do rastreador ($\sigma_{rastreo}$). Podem ser representados por uma distribuição de probabilidade (na maioria dos casos, gaussiana). Bendt et al. (1979) apresentaram a Eq. (8) para o cálculo do desvio total.

$$\sigma_{tot} = \sqrt{\sigma_{sol}^2 + \sigma_{rugosidades}^2 + 2\sigma_{geometria}^2 + \sigma_{rastreo}^2 + \sigma_{desalinhamento}^2} \quad (8)$$

2.1 Aplicação do modelo de distribuição de brilho com erros ópticos

Utilizando-se as equações apresentadas, foram simuladas quatro condições de erros ópticos para cada geometria: a primeira desconsiderando a ocorrência de erros ópticos, utilizando para tal a distribuição descrita em Rabl (1985). Nas outras três condições, foi considerada a ocorrência de erros ópticos randômicos com desvio padrão total (σ_{tot}) de 5 mrad, que se refere a um concentrador de muito boa qualidade, 10 mrad (concentrador de qualidade mediana) e 20 mrad (concentrador de baixa qualidade). Os concentradores escolhidos não apresentam restrições especiais no que se refere a sua geometria e ângulo de borda, da mesma forma que às dimensões do cone solar. Nesse sentido pode se afirmar que o modelo desenvolvido pode ser utilizado nas mais diversas condições, desde que se respeitem as leis fundamentais que regem o desempenho dos sistemas óticos.

Para as simulações com erros ópticos, utilizou-se a Eq. (7) com diferentes distribuições de brilho, calculadas em função de σ_{tot} . As distribuições de brilho $B_{eff}(\varphi)$, empregadas nas Eq. (5) e Eq. (6), foram calculadas para vários valores de σ_{tot} . No caso denominado sem desvios $B_{eff}(\varphi) = B(\varphi_{in})$ considerou-se a distribuição descrita por Rabl e Bendt (1982). Os resultados são mostrados na Fig. 3. Os dados geométricos, dos concentradores empregados nas simulações, são os mesmos utilizados na elaboração dos gráficos de isolinhas da Fig. 2.

Os gráficos das Fig. 3a, 3b e 3c apresentam o perfil da distribuição de fluxo incidente sobre os absorvedores dos concentradores calha parabólica com absorvedor plano, calha parabólica com absorvedor tubular e Fresnel com absorvedor tubular respectivamente.

Observa-se na Fig. 3a, que para a condição denominada sem desvios, toda a radiação incide sobre o absorvedor, cujo tamanho ($y_m = 0,0076m$) está representado pela abscissa do gráfico que considera a relação $y/f (10^3) = 7,6$ ($f = 1$ para as simulações). Com a utilização de um concentrador de boa qualidade (5 mrad, por exemplo), verifica-se que a distribuição de energia ultrapassa os limites do absorvedor, o que significa que apenas uma parcela da energia refletida será utilizada, esta quantidade de energia é contabilizada pelo fator de interceptação, conforme Pedrosa Filho (2013). Com a piora da qualidade do concentrador mais espalhada e uniforme fica a distribuição de energia. Se observarmos o pico de concentração do centro do absorvedor, verifica-se que com a duplicação da intensidade dos erros ópticos, o valor da concentração no pico é reduzido aproximadamente pela metade.

Na Fig. 3b, as quatro curvas também representam as mesmas condições de erro óptico descritas para a Fig. 3a. A abscissa do gráfico representa a posição angular do absorvedor cilíndrico desde -180° até $+180^\circ$. Na condição ideal, a radiação concentra-se entre as posições angulares de -130° até $+130^\circ$. Considerando um desvio óptico de 5 mrad, o perfil da distribuição de energia espalha-se ao longo de todo o absorvedor. Mesma situação verifica-se com desvios maiores porém, com o aumento do desvio ocorre uma redução da intensidade da distribuição ou seja, uma parcela da radiação refletida não incide no absorvedor reduzindo assim o fator de interceptação. Porém, nota-se que, em relação ao pico da concentração, este é menos afetado pelo aumento da intensidade dos erros ópticos do que o concentrador com absorvedor plano.

Para o concentrador Fresnel com absorvedor plano, observa-se na Fig. 3c, o perfil da distribuição de energia no absorvedor também para as mesmas condições da Fig. 3a. Nota-se que para a condição ideal, a distribuição de energia está situada entre as posições angulares de -70° e $+70^\circ$, bem mais compactada do que a configuração da calha parabólica. Considerando a ocorrência de erros ópticos com intensidade 5 mrad, o perfil de distribuição aumenta para a

faixa de aproximadamente -90° a $+90^\circ$. Para um desvio óptico de 10 mrad, a expansão da faixa vai de -120° a $+120^\circ$. Considerando um desvio de 20 mrad, uma quantidade de raios deixa de atingir o absorvedor, devido ao estarem mais espalhados, o que provoca uma redução no fator de interceptação.

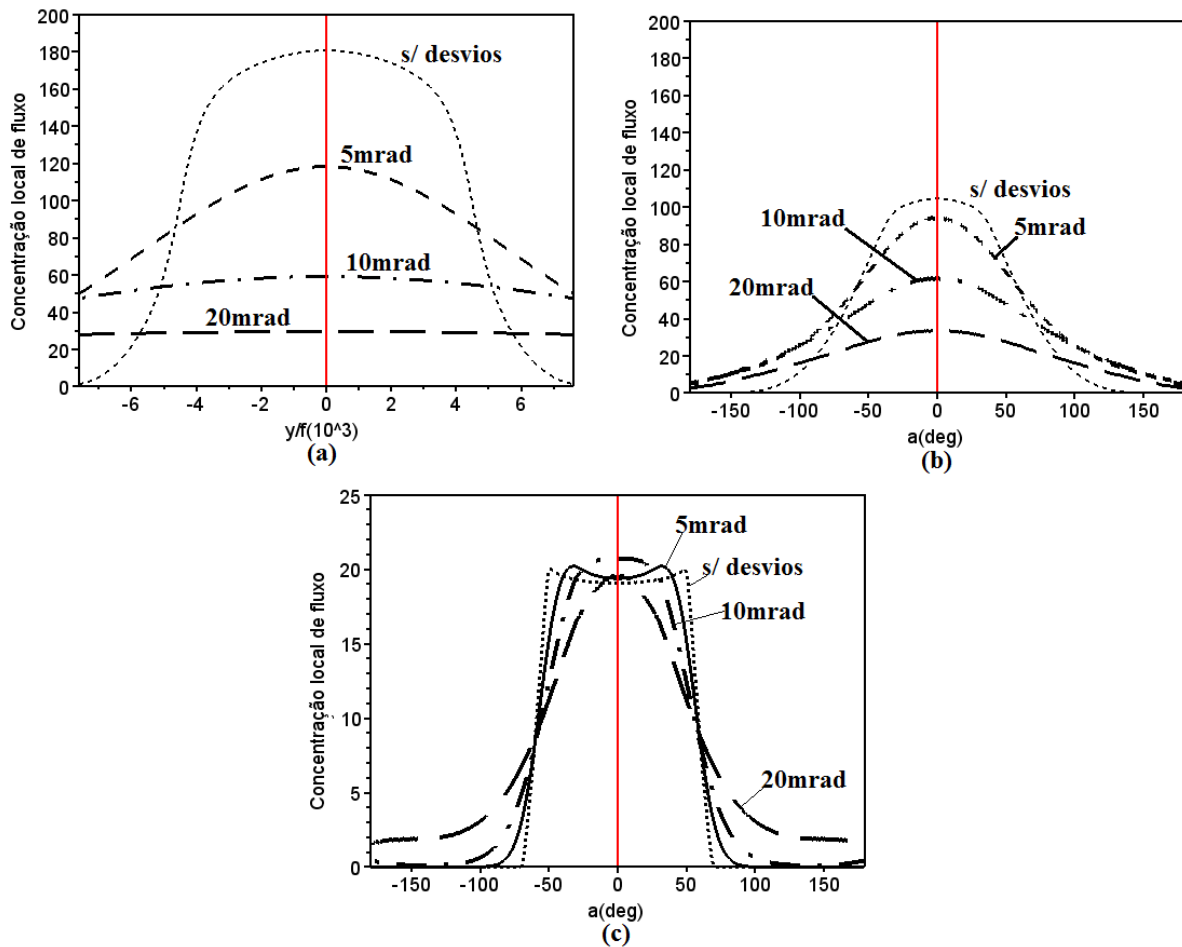


Figura 3 - Distribuição de fluxo no absorvedor considerando a situação sem erros ópticos, e com erros de 5, 10 e 20 mrad para os concentradores (a) calha parabólica com absorvedor plano, (b) calha parabólica com absorvedor tubular e (c) Fresnel com absorvedor tubular.

Com isto, observa-se que determinadas geometrias de concentradores são menos afetadas pela ocorrência de erros ópticos estocásticos. O concentrador Fresnel com absorvedor cilíndrico é pouco afetado por erros ópticos abaixo de 20 mrad. Em ordem de sensibilidade, a calha parabólica é mais afetada pela ocorrência dos erros ópticos e a calha parabólica com absorvedor cilíndrico está em uma condição intermediária.

2.2 Aplicação do modelo de distribuição de brilho com desalinhamento de rastreamento

O modelo de distribuição, conforme Pedrosa Filho (2013), pode ser aplicado para se obter a distribuição de brilho incidente no absorvedor quando o concentrador está submetido a um erro determinístico de rastreamento, ou seja, quando existe uma diferença angular δ entre o vetor solar e a normal ao plano da abertura do concentrador, conforme Fig. 4.

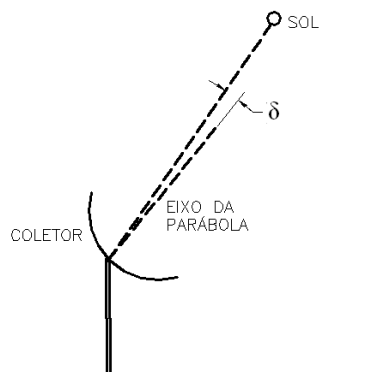


Figura 4 - Desvio angular do rastreador em relação ao vetor solar.

Foram realizadas simulações utilizando os concentradores calha parabólica com absorvedor plano e tubular e Fresnel com absorvedor tubular, com os mesmos dados que foram empregados para obter os resultados das Fig. 2 e Fig. 3. Os desvios angulares de rastreamento foram simulados em conjunto com a ocorrência dos erros ópticos estocásticos de 5 mrad, 10 mrad e 20 mrad (acompanhando o nível de qualidade do concentrador).

A Fig. 5 apresenta os gráficos com os resultados da simulação que relacionam os valores de concentração média sobre o absorvedor em função dos desvios angulares percentuais em relação ao ângulo mínimo de abertura do cone solar (0,265 graus), ou seja, 0% refere-se à abertura mínima do cone; 100% representa um cone duas vezes maior e 200%, um cone três vezes maior.

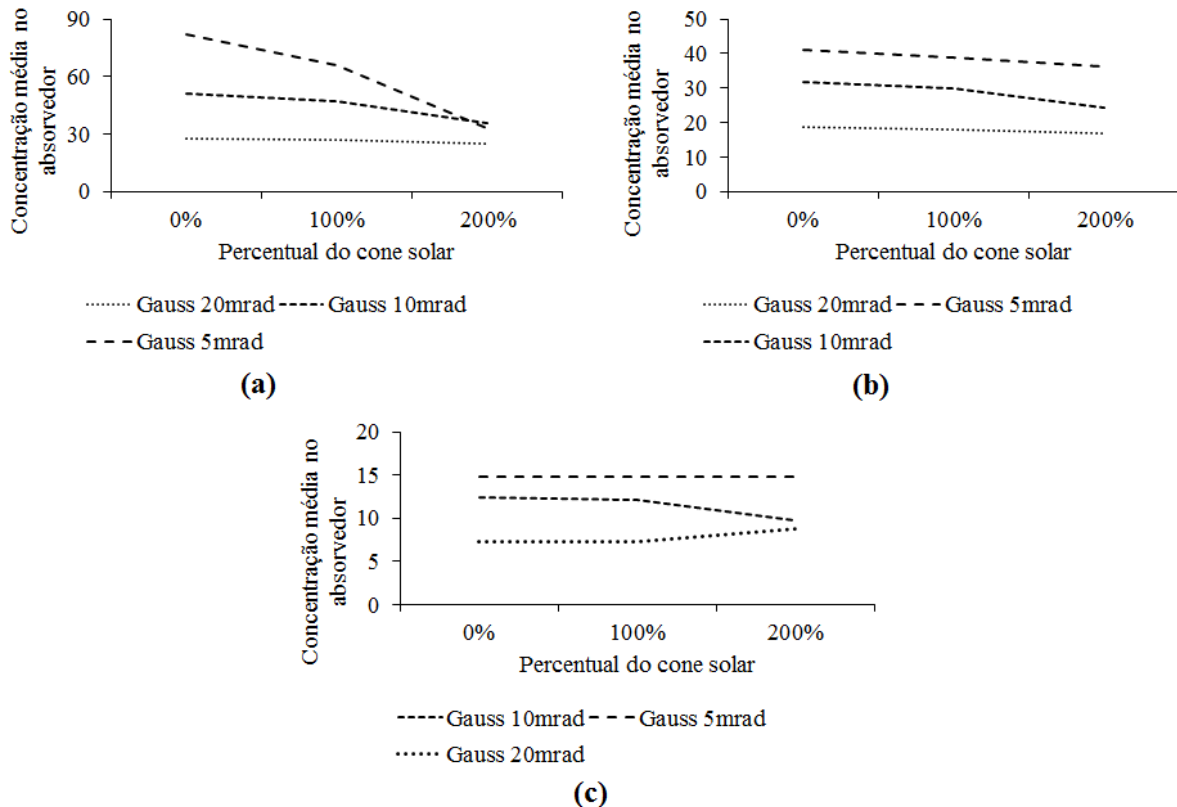


Figura 5 - Influência da ocorrência de desvio angular de rastreamento na concentração média de fluxo do concentrador (a) calha parabólica com absorvedor plano, (b) calha parabólica com absorvedor tubular e (c) Fresnel com absorvedor tubular.

Verifica-se nos gráficos da Fig. 5 que os valores da concentração média da calha parabólica com absorvedor plano (Fig. 5a) são mais influenciados pela ocorrência dos erros de rastreamento, para um concentrador de boa qualidade (erro óptico de 5 mrad) a redução da concentração verificada para 200% do cone solar é de aprox. 50%. Enquanto que para um concentrador de baixa qualidade, praticamente a concentração média não é influenciada.

Já para a calha parabólica com absorvedor tubular (Fig. 5b) a redução da concentração para uma boa qualidade do concentrador é de aproximadamente 12%. Novamente, para um concentrador com erro óptico de 20mrad, a alteração da concentração média é desprezível.

Para o concentrador Fresnel com absorvedor tubular (Fig. 5c), nota-se que independente da ocorrência de erros ópticos (boa, média e baixa qualidade) o valor da concentração média varia muito pouco em função dos erros de rastreamento.

Nota-se, portanto, que existem determinadas geometrias de concentrador que são mais imunes à ocorrência dos erros de rastreamento do que outras, e que existe um compromisso entre a qualidade do concentrador e a do rastreador, ou seja, para que haja um bom desempenho de um concentrador de boa qualidade, o conjunto óptico do concentrador e seu sistema de rastreamento devem ter o mesmo nível de qualidade.

A Fig. 6 apresenta o perfil das distribuições de fluxo incidentes nos absorvedores das três geometrias objetos deste trabalho, consideram que o concentrador é de boa qualidade (desvio óptico de 5 mrad) e a ocorrência do erro de rastreamento de 0%, 100% e 200% do cone solar.

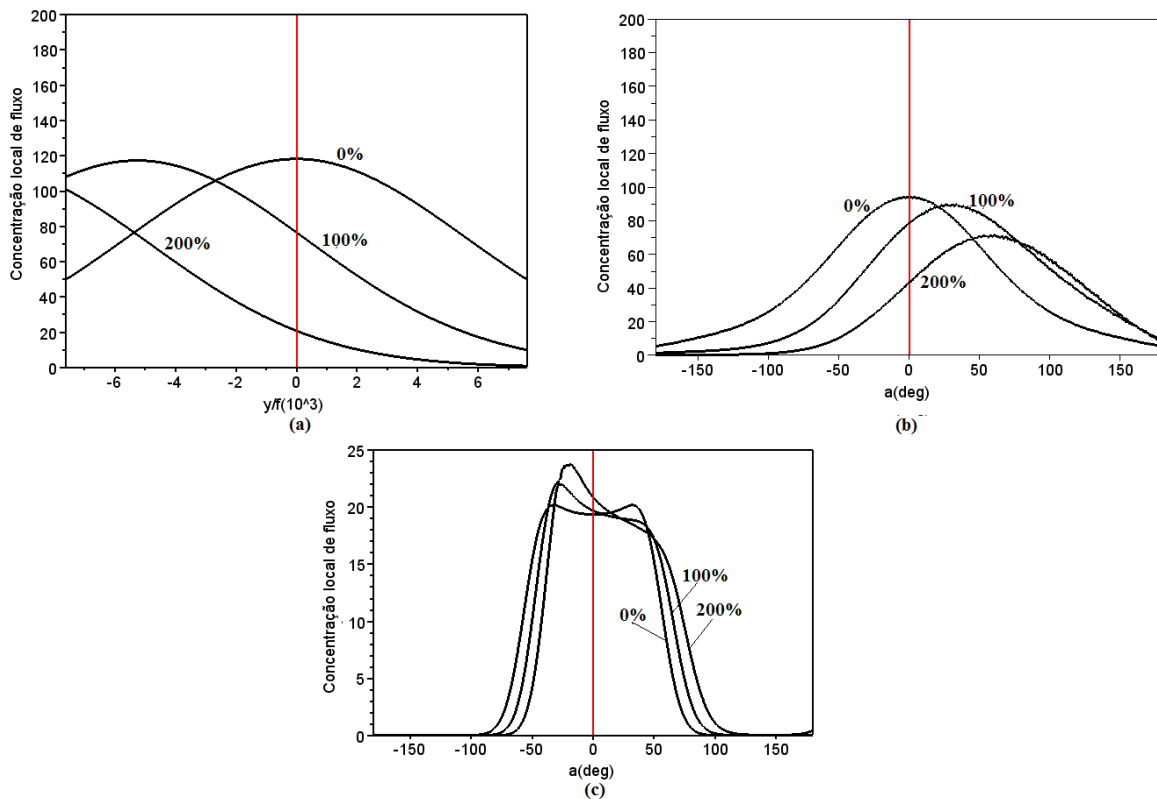


Figura 6 - Perfil de distribuição de fluxo sobre o absorvedor do (a) concentrador calha parabólica com absorvedor plano, (b) calha parabólica com absorvedor tubular e (c) Fresnel com absorvedor tubular.

Nota-se, pelo apresentado na Fig. 6a, para o concentrador calha parabólica com absorvedor plano, que com o aumento do erro de rastreamento, a distribuição de energia no absorvedor deslocou-se, neste caso, para a esquerda fazendo com que uma parcela da radiação refletida não atinja o absorvedor, o que demonstra uma maior taxa de redução da concentração média apontada na Fig. 5a, conforme aumenta o desvio. O formato do perfil não se altera, apenas desloca-se para o lado.

Observando a Fig. 6b, nota-se que, o efeito no erro de rastreamento no concentrador calha parabólica com absorvedor tubular faz com que o perfil de distribuição seja centralizado em outra posição angular do absorvedor. Para a distribuição de fluxo, verifica-se que mesmo com a modificação do pico do perfil, todas as posições angulares continuam a ser atingidas pela radiação refletida. Neste caso, com o aumento do erro do rastreamento, nota-se uma redução da intensidade do perfil.

Para o perfil de distribuição de energia do concentrador Fresnel com absorvedor tubular (Fig. 6c), nota-se que o erro de rastreamento, para este nível de desvio óptico, apenas provoca uma deformação do perfil, não provocando deslocamento, porém com pouco espalhamento da energia ao longo do absorvedor. Consequentemente, não afetando o valor da concentração média e nem o fator de interceptação.

2.3 Comentários finais

Verificou-se neste trabalho a aplicação do modelo de distribuição de brilho em absorvedores desenvolvido por Fraidenraich et al. (2013) com três diferentes geometrias de concentradores: calha parabólica com absorvedor plano e tubular, e Fresnel com absorvedor tubular.

Foi apresentada a metodologia considerando a ocorrência de erros ópticos estocásticos e de rastreamento, o que demonstra inicialmente todo o potencial da ferramenta na simulação dos efeitos destes erros no perfil de distribuição de energia incidente nos absorvedores dos concentradores. O conhecimento deste perfil é de grande importância para o projeto e monitoramento da operação de concentradores, pois permite que possam se determinados da taxa de concentração e do fator de interceptação, valores estes que possibilitam a realização de diagnósticos e a quantificação da energia que será absorvida nos absorvedores.

A partir dos resultados das simulações, observou-se que a geometria do concentrador Fresnel com absorvedor tubular é mais imune à incidência destes erros ópticos citados, o que permite afirmar que para este tipo de concentrador, a qualidade da óptica e do rastreador não são pontos fundamentais a serem investidos fortemente, pois não afetarão no desempenho do sistema.

Já para a geometria do concentrador calha parabólica com absorvedor plano, verificou-se que o desempenho do sistema está fortemente atrelado à qualidade do sistema óptico e do rastreador, visto que estes fatores podem provocar uma redução do seu desempenho. Para a calha parabólica com absorvedor tubular, observou-se que não é tão afetada pela qualidade do sistema óptico e rastreador, ficando como um meio termo dentro desta análise.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio dado para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Alberti, F., Cozzini, M. e Crema, L., 2012. Two-zone coating strategy for CSP parabolic trough applications. 18th Solar PACES2012 Conference. Marrakech, Marrocos.
- Bendt, P., Rabl, A., Gaul, H. W. e Reed, K. A., 1979. Optical analysis and optimization of line focus solar collectors. Report SERI/TR-36-092. Golden, CO, Solar Energy Research Institute.
- Evans, D. L., 1977. On the performance of cylindrical parabolic solar concentrators with flat absorbers. Solar Energy, vol. 19, n. pp. 379-385.
- Fraidenraich, N., Pedrosa, M. H. O., Vilela, O. C. e Gordon, J. M., 2013. Exact analytic flux distributions for two-dimensional solar concentrators. Applied Optics, vol. 52, n. 19, pp. 4596-4600.
- Glenn, K. W. e Ho, C. K., 2012. Impact of aperture size, receiver diameter, and loop length on parabolic trough performance with consideration of heat loss, pumping parasitics, and optics for a typical meteorological year. Solar PACES, Marrakech, Marrocos.
- Guyen, H. M. e Bannerot, R. B., 1986. Determination of Error Tolerances for the Optical Design of Parabolic Troughs for Developing-Countries. Solar Energy, vol. 36, n. 6, pp. 535-550.
- Hassan, K. E. e El-Refaie, M. F., 1973. Theoretical performance of cylindrical parabolic solar concentrators. Solar Energy, vol. 15, n. pp. 219-244.
- Jeter, S. M., 1986. Calculation of the concentrated flux density distribution in parabolic trough collectors by a semifinite formulation. Solar Energy, vol. 37, n. pp. 335-345.
- José, P. D., 1957. The flux distribution through the focal spot of a solar furnace. Solar energy, vol. 1, n. pp. 19-22.
- Nicolas, R. O. e Duran, J. C., 1980. Generalization of the Two-Dimensional Optical Analysis of Cylindrical Concentrators. Solar Energy, vol. 25, n. 1, pp. 21-31.
- Pedrosa Filho, M. H. O., 2013. Nova abordagem para a determinação da densidade de fluxo solar no absorvedor de concentradores lineares. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Pedrosa Filho, M. H. O., Fraidenraich, N. e Vilela, O. C., 2012. Utilização do Modelo de Identificação de Raios (RIAID) para Determinação da Distribuição de Intensidade na Região do Absorvedor e Parâmetros Ópticos de um Concentrador Cilíndrico Parabólico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 16, n. pp. 08.103-108.112.
- Pedrosa Filho, M. H. O., Fraidenraich, N. e Vilela, O. C., 2013. Parâmetros característicos de sistemas concentradores solares com absorvedores planos submetidos a desvios ópticos. Revista Brasileira de Energia Solar, vol. IV, n. 2, pp. 101-108.
- Price, H., Lüpfer, E., Kearney, D., Zarza, E., Cohen, G., Gee, R. e Mahoney, R., 2002. Advances in parabolic trough solar power technology. Journal of Solar Energy Engineering, vol. 124, n. pp. 109-125.
- Rabl, A., 1985. Active Solar Collectors and Their Applications. New York, Oxford University Press.
- Rabl, A. e Bendt, P., 1982. Effect of Circumsolar Radiation on Performance of Focusing Collectors. Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the Asme, vol. 104, n. 3, pp. 237-250.
- Reeken, F. v., Weinrebe, G. e Balz, M., 2012. Extended Rabl method to assess the optical quality of parabolic trough collectors. 18th Solar PACES Conference. Marrakesh, Marrocos.
- Simon, A. W., 1958. Calculation of the concentration of energy at points outside the focal spot of a parabolic condenser. Solar energy, vol. 2, n. pp. 22-24.

BRIGHT FLUX DISTRIBUTION IN BIDIMENSIONAL CONCENTRATORS SUBMITTED TO OPTICAL ERRORS

Abstract. *The profile energy distribution knowledge that hits a solar concentrator absorber permits to analyze its performance, operation diagnosis and to quantify the absorbed energy. The solar concentrators are not ideal equipment, they are subject to the optical errors that can be provoked by tracking problems and reflector surface deficiency. This work uses the analytic solution developed by Fraidenraich et al. (2013) to evaluate the sensibility of three solar concentrators geometries: parabolic trough with plane and cylindrical absorbers and Fresnel with cylindrical absorber front to the occurrence and intensity of optical errors of tracking and to the quality of reflective surface. It was verified that the quality of tracking system of the parabolic trough with absorber plane or tubular is intrinsic related to the reflective surface quality, the investment in the quality of these systems permits to rise the energy quantity collected. The Fresnel concentrator geometry with tubular absorber is proof to the optical and tracking errors occurrence that means that the investment in the quality of these systems does not take significant gains in energy to the system.*

Key words: Solar Concentrator, Parabolic trough concentrator, energy distribution profile, optical errors.