

## DESENVOLVIMENTO DE ESPELHOS CURVOS PARA UM CONCENTRADOR HELIOTÉRMICO DO TIPO FRESNEL LINEAR

MSc. Victor C. Pigozzo Filho<sup>1</sup>, Gabriel Cascaes<sup>2</sup>, Selen S. Sousa<sup>3</sup>,  
Pedro M. Brogni<sup>4</sup>, João P. G. Trancoso<sup>4</sup>, MSc. Alexandre B. de Sá<sup>1</sup>;  
Dr. Júlio C. Passos<sup>5</sup>

1. Doutorando em Engenharia Mecânica pelo POSMEC da UFSC
2. Estudante de IC da Engenharia Mecânica da UFSC
3. Mestrando em Engenharia Mecânica pelo POSMEC da UFSC
4. Estudante de IC na empresa júnior PET, da Engenharia Mecânica da UFSC
5. Professor do Departamento de Engenharia Mecânica / Orientador

### Resumo:

O grupo LEPTEN, da Universidade Federal de Santa Catarina, está desenvolvendo uma bancada de concentração solar do tipo Fresnel linear. O objetivo do trabalho é estudar o comportamento desta tecnologia operando com geração direta de vapor. Parte do projeto de desenvolvimento do concentrador solar envolveu a fabricação de espelhos ligeiramente curvos, tomando como base espelhos planos comuns como forma de reduzir custos e utilizar matéria prima local. Neste trabalho, é mostrado o projeto de conformação a frio dos espelhos curvos e o método de verificação da qualidade das curvaturas. Testes visuais da radiação refletida nos espelhos foram realizados e mostraram que a fabricação é satisfatória para o projeto em questão.

**Autorização legal:** Não se aplica ao presente trabalho.

**Palavras-chave:** Concentrador solar Fresnel linear; Geração direta de vapor; Energia solar.

**Apoio financeiro:** CNPQ (Proc. 406357/2013-7), CAPES/POSMEC-UFSC.

### Introdução:

Preocupações com o meio ambiente e a necessidade de se ampliar e diversificar as matrizes energéticas dos países têm realçado a importância das fontes de geração renováveis. Neste contexto, a energia solar tem ganhado espaço devido ao seu grande potencial.

O grupo LEPTEN tem estudado sistemas solares térmicos de concentração (CSP, do inglês "Concentrating Solar Power"). Tais sistemas tiram proveito do potencial térmico da energia solar, utilizando-se de espelhos ou lentes para fazer a concentração dos raios solares.

A Agência Internacional de Energia (IEA) elaborou dois *roadmaps* para geração termossolar. A meta estabelecida no *roadmap* de 2010 era que a tecnologia CSP atingiria cerca de 11% da geração mundial de eletricidade em 2050. No roteiro revisado de 2014, esse objetivo foi mantido, o que é um indicador positivo para o desenvolvimento do CSP (Philibert, 2014). Considerando os dois tipos de tecnologias para geração de eletricidade com base na fonte de energia solar, a CSP e a fotovoltaica, prevê-se que 27% da demanda elétrica global, em 2050, possa ser de origem solar.

Este *roadmap* propõe ações para restringir o limite do aquecimento global a 2°C no longo prazo.

A tecnologia dos concentradores por meio de espelhos lineares de Fresnel figura como uma das principais tecnologias CSP e é objeto de estudo desse trabalho. O sistema de concentração Fresnel utiliza-se de um número variável de fileiras de espelhos localizadas no plano horizontal, na parte inferior. Os raios solares são refletidos e convergem a uma mesma linha focal, mais elevada, onde encontra-se o elemento absorvedor. A configuração descrita acima pode ser vista na Figura 1, que mostra uma fotografia da bancada experimental em construção pelo LEPTEN.



Figura 1 – Coletor Fresnel linear em construção pelo laboratório LEPTEN na UFSC

Os espelhos eram originalmente planos e sofreram uma curvatura a frio para obterem a distância focal desejada. Esta ligeira curvatura reflete a radiação solar, concentrando-a em uma menor área do absorvedor, reduzindo assim as perdas térmicas e possibilitando atingir maiores temperaturas. As dimensões do espelho e a configuração em linhas paralelas resulta em uma menor carga imposta por ventos quando se compara com a estrutura dos coletores cilindro parabólicos (Morin et al., 2012).

O presente trabalho objetiva desenvolver um método para a fabricação de espelhos curvos, aplicáveis ao coletor Fresnel linear em questão. O método deve possibilitar a fabricação dos espelhos em laboratório, de maneira simples e barata. Por fim deve-se analisar a qualidade construtiva dos espelhos verificando fatores como a qualidade focal e a durabilidade da estrutura.

### Metodologia:

A primeira etapa do projeto foi uma análise computacional que permitiu a escolha de uma geometria ótima, em termos de eficiência geométrica, para o concentrador Fresnel linear. Foi realizada uma simulação do tipo Monte Carlo *Ray-Tracing* para estudar a influência dos parâmetros geométricos na eficiência do concentrador. Parâmetros como número de fileiras, largura dos espelhos, altura do absorvedor, entre outros foram considerados e uma configuração otimizada foi escolhida, (de Sá et. Al, 2015).

Para gerar a curvatura, os espelhos são colados em estruturas chamadas de “espinhas de peixe”, que servem também para fixá-los nos eixos do coletor. Para garantir que os espelhos sejam colados corretamente nas “espinhas de peixe”, um sistema de prensas cortadas a laser foi desenvolvido, composto por duas estruturas de MDF que mantêm o espelho prensado entre elas. Por estarem situadas a distâncias diferentes do absorvedor, cada fileira possui sua curvatura específica. A Figura 2 mostra o projeto da estrutura sanduíche (a) e um espelho montado aguardando a secagem da cola (b).

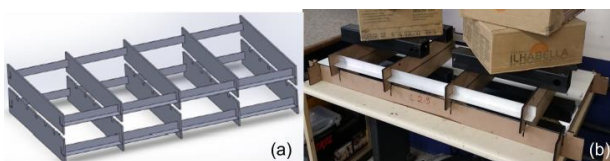


Figura 2 – Projeto da estrutura para dar a curvatura aos espelhos (a) e um espelho montado aguardando secagem da cola (b)

Para fixar o espelho nas “espinhas de peixe” foi utilizado um adesivo à base de Polímeros de Silano Modificado. A cola apresentou boa tenacidade em manter a geometria após a remoção dos elementos da prensa, e mesmo após serem instalados por um longo período em um ambiente externo como visto na Figura 1. Esta cola é indicada por ser resistente a umidade e raios ultravioletas, UV's.

Como o adesivo teve um bom desempenho, posteriormente foram realizados ensaios visuais a fim de aferir a qualidade da curvatura dos espelhos gerados pelo processo desenvolvido. A Figura 3 mostra o esquema de testes visuais realizados. O espelho foi posicionado de modo a refletir os raios solares em um anteparo branco. Diferentes distâncias foram utilizadas para verificar se o foco real obtido é o mesmo do foco de projeto, conferido pelo sistema de prensas.

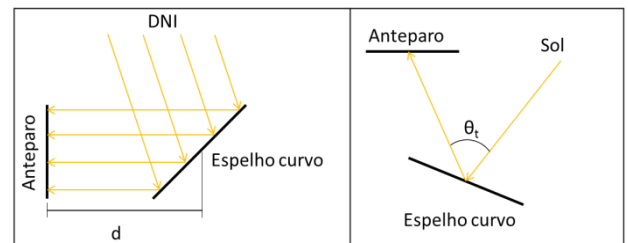


Figura 3 – Esquema dos ensaios realizados

### Resultados e Discussão:

Na Figura 4, são mostradas fotografias de um dos testes que consistiu em variar a distância entre o espelho e o anteparo de visualização a fim de verificar o foco para dois ângulos transversais,  $\theta=0^\circ$  e  $60^\circ$ . Neste caso o foco de projeto do espelho era de 5000mm e pode-se observar que coincide com a distância onde os raios solares apresentam melhor convergência no anteparo.

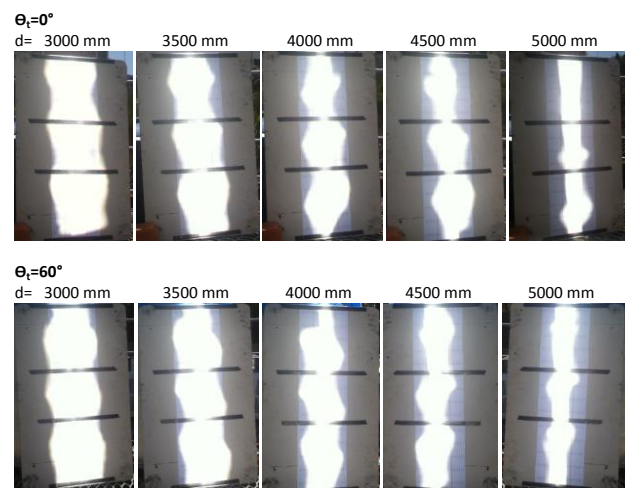


Figura 4 – Resultado de um dos testes visuais realizados para verificar a qualidade da curvatura dos espelhos

É possível observar que na região central existe uma maior concentração da radiação solar. Observa-se também que alguma radiação (com menor intensidade) é refletida sobre uma área mais larga. Tal fato ocorre devido a imperfeições na superfície do espelho e não pela forma geométrica em si.

Os testes visuais apresentaram resultados satisfatórios quanto à radiação concentrada pelos espelhos. A variação do ângulo de incidência possibilitou visualizar o efeito de astigmatismo característico de coletores Fresnel lineares. Este fenômeno pode ser observado, com o ângulo de 60°, pelo fato de haver uma maior claridade fora do foco. No caso para a distância de 5000mm fica mais evidente. Este fato diminui a eficiência óptica do Fresnel no início e fim do dia, mas é uma característica inerente à tecnologia Fresnel.

Pode-se observar também, na figura 4, que os espelhos apresentam algumas deformações macroscópicas longitudinais. Isto se deve ao fato de ter se utilizado apenas quatro espinhas de peixe por cada espelho de um metro de comprimento. Nos espaços entre cada espinha de peixe o espelho tende a retornar à sua posição plana original. Esta deformação, entretanto, ficou dentro dos limites aceitáveis e não deve acarretar ineficiências ópticas significativas.

### **Conclusões:**

Foi verificado que a curvatura dos espelhos é satisfatória para a construção do concentrador Fresnel linear. Espera-se que tal curvatura aumente a eficiência óptica do concentrador, reduzindo a parcela de radiação que seria perdida caso os espelhos fossem planos. Os primeiros espelhos fabricados já estão instalados na bancada há mais de um ano, mantendo sua integridade física. Isto mostra que o processo de colagem é adequado para seus fins.

Pelo menos quatro métodos diferentes para curvar espelhos foram desenvolvidos e testados sendo que o método descrito foi o único bem sucedido. Devido à fragilidade dos espelhos, qualquer deformação além do regime elástico faz com que o mesmo se quebre. Quando expostos ao sol os espelhos estarão submetidos à certa dilatação térmica, o que, somada a uma cola não deformável, poderá ocasionar sua quebra. A característica elástica da cola utilizada foi primordial para contornar este problema.

O presente estudo permitiu dar prosseguimento à construção da bancada e ao projeto, que visa a estudar as propriedades óticas e térmicas do concentrador Fresnel linear.

### **Referências bibliográficas**

DE SÁ A. B., PIGOZZO, F. V. C., PASSOS, J. C., CASCAES, G. M., BURIGO, A. Optical simulation to find optimum configuration of a solar concentrator workbench using linear fresnel technology. Conference Proceedings, Solar World Congress 2015, Daegu, Korea, 2015.

Morin G, Dersch J, Platzer W, Eck M, Häberle A. Comparison of linear Fresnel and parabolic trough collector power plants. Solar Energy. 2012 Jan 31;86(1):1-2.

Müller-Steinhagen H, Trieb F. Concentrating solar power. A review of the technology. Ingenia Inform QR Acad Eng. 2004 Feb;18:43-50.

Philibert C. Technology roadmap – solar thermal electricity. International Energy Agency; 2014.