



GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO TÉRMICA - GGT

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE RASTREAMENTO (TRACKER) DE CONCENTRADOR CILINDRO-PARABÓLICO PARA GERAÇÃO TERMOSSOLAR

JONAS RAFAEL GAZOLI(1); MOACIR ALEXANDRE SOUZA DE ANDRADE(2); ROBERTO M. G VELÁSQUEZ(3); ALESSANDRO SETE(1); FLAVIO DE LIMA VIEIRA(2); NELSON PONCE JUNIOR(1) EUDORA ENERGIA LIMITADA(1); FURNAS-CENTRAIS ELETRICAS S.A.(2); FACTO CONSULTORIA EM ENERGIA E MEIO AMBIENTE LTDA(3)

RESUMO

A Eudora Energia, juntamente com Furnas Centrais Elétricas, está desenvolvendo um Coletor Cilindro-Parabólico nacional para geração heliotérmica. A performance de uma usina com esta tecnologia é bastante afetada pelo algoritmo de posicionamento dos coletores, que aproveitam a componente direta da irradiância solar, incidente paralelamente ao plano dos espelhos e refletida no ponto focal da parábola. Assim, a garantia da posição geométrica do concentrador não é necessariamente suficiente para definir a sua performance de rastreo. Para isso, é fundamental um sistema de rastreamento automático (tracker) para o concentrador. Este artigo apresenta a metodologia utilizada para dimensionamento do rastreador e o algoritmo de cálculo da sua posição.

PALAVRAS-CHAVE

Energia Termossolar; Energia Heliotérmica; Concentrador Cilindro-parabólico; CSP; *Solar Tracker*; Rastreador Solar;

1.0 INTRODUÇÃO

A Eudora Energia, juntamente com Furnas Centrais Elétricas, está desenvolvendo um Coletor Cilindro-Parabólico nacional para geração termossolar (também chamada de geração heliotérmica). Formado por espelhos de vidro com alta refletividade, o concentrador possui abertura de 5,7m e comprimento de 150m (chamado de módulo SCA e composto por 12 submódulos SCE). Em seu ponto focal, circula um fluido térmico (HTF – *Heat Transfer Fluid*) através de um tubo receptor, cuja temperatura máxima é de 390 °C. Este fluido pode ser utilizado para geração de vapor através da troca térmica em uma caldeira, que por sua vez pode gerar energia elétrica em um turbogerador, ou ser utilizado em um processo térmico já existente.

Um concentrador cilindro-parabólico utiliza a componente direta da irradiância solar, que incide paralelamente ao plano dos espelhos e é refletida no ponto focal da parábola, que coincide com o ponto onde estão instalados os tubos receptores. Para manter a perpendicularidade da face dos espelhos em relação à componente direta da irradiância solar, é fundamental um sistema de rastreamento automático (tracker) para o concentrador.

O tracker trabalha no sentido Leste-Oeste, enquanto os concentradores são instalados com seu eixo longitudinal na direção Norte-Sul (alinhamento com maior otimização). O sistema consiste na utilização de dois atuadores hidráulicos lineares (pistões) que giram o sistema no seu eixo de rotação longitudinal ao longo do dia, acompanhando a trajetória solar. Um par de pistões gira o módulo SCA de uma só vez de forma precisa e confiável. Para tanto, utiliza um algoritmo astronômico otimizado para rastreadores de eixo longitudinal baseado, principalmente, na localização geográfica do coletor e no instante de tempo. O algoritmo utiliza um inclinômetro absoluto para feedback de posição, garantindo alta precisão no posicionamento. O sistema de controle foi desenvolvido utilizando um controlador lógico programável (CLP) Siemens de alta performance, seguindo padrões de robustez industrial compatível com a vida útil esperada para o sistema, que é acima de 20 anos.

Neste trabalho será apresentada a metodologia utilizada para dimensionamento dos atuadores lineares capazes de movimentar o SCA ao longo de sua trajetória diária, considerando as cargas impostas ao coletor pelas forças atuantes, em especial a força do vento. Será apresentada também a metodologia empregada no algoritmo de cálculo da posição do rastreador.

A performance de uma usina termossolar é amplamente afetada pelo algoritmo de posicionamento dos coletores termossolares. Assim, a garantia da posição geométrica do concentrador não é necessariamente suficiente para definir a sua performance de rastreo.

Assim, este artigo apresenta um dos sistemas que compõem o concentrador cilindro-parabólico nacional em desenvolvimento, que permitirá a nacionalização desta tecnologia, potencializando a sua aplicação em massa no Brasil. Trata-se da primeira iniciativa desta natureza, fruto do recurso de P&D da ANEEL.

Com a tecnologia nacionalizada, o custo de fabricação e a cadeia de fornecimento para estabelecimento de usinas termossolares no Brasil ficam sob maior controle, viabilizando o estabelecimento de políticas nacionais para inserção desta fonte na matriz energética brasileira, ainda não explorada comercialmente.

2.0 USINA TERMOSSOLAR DE CONCENTRADORES CILINDRO-PARABÓLICOS

Uma usina de concentradores cilindro-parabólicos utiliza um sistema de espelhos parabólicos para concentrar a radiação solar direta em um tubo receptor, que está posicionado em sua linha focal, aquecendo o HTF que circula no seu interior. O calor transportado pelo HTF no circuito primário é transferido, por meio de trocadores de calor, para um fluido de trabalho em um circuito secundário, transformando-o em vapor que movimenta uma turbina acoplada a um gerador elétrico (turbogerador), obtendo-se, assim, eletricidade.

O vapor na saída do turbogerador é resfriado e condensado em um sistema de arrefecimento, sendo bombeado aos trocadores de calor em um circuito fechado. O HTF, por sua vez, após ceder calor ao fluido de trabalho, é bombeado ao campo solar, fechando-se o ciclo. O sistema formado pelo gerador de vapor e turbogerador pode ser tratado pelo termo Sistema de Geração. Um módulo de armazenamento térmico pode ainda ser integrado ao circuito primário da usina, possibilitando que a energia térmica seja armazenada e utilizada posteriormente. A Figura 1 apresenta de maneira simplificada a topologia típica de uma usina termosolar de concentradores cilindro-parabólicos (1)(2)(3)(4).

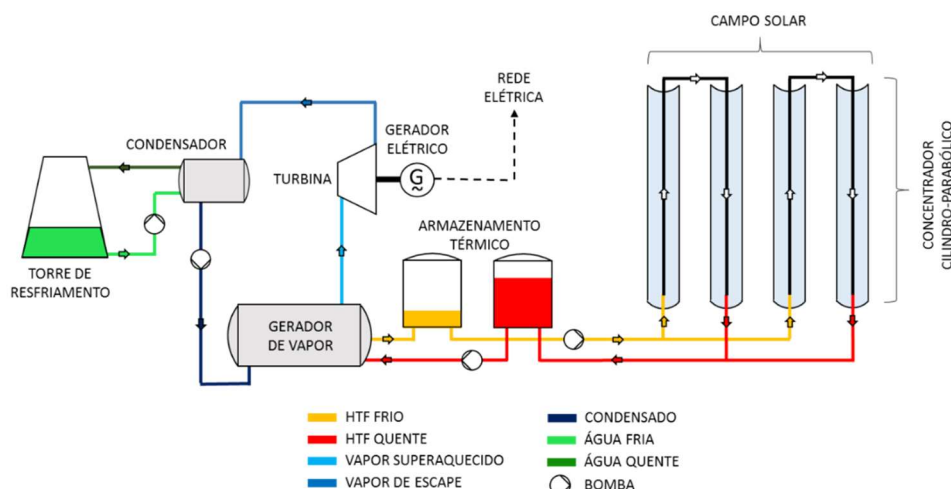


FIGURA 1 – Topologia típica de uma usina de concentradores cilindro-parabólicos. Fonte: (1).

Um sistema de rastreamento, capaz de rotacionar o concentrador no seu eixo longitudinal, garante que o plano de simetria do perfil cilindro-parabólico esteja sempre paralelo aos raios diretos do sol, conforme representado na Figura 2. Comumente os concentradores cilindro-parabólicos são instalados com seu eixo longitudinal alinhado com a linha Norte-Sul, sendo o movimento de rastreamento, portanto, no sentido Leste-Oeste.

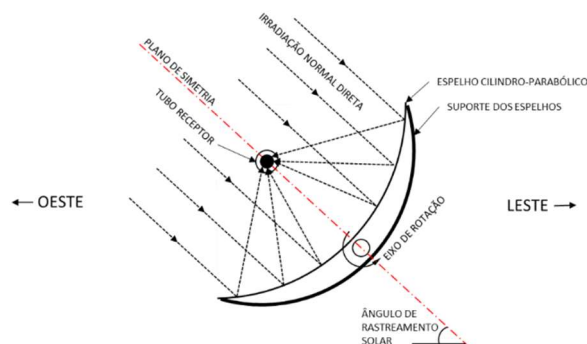


FIGURA 2 – Representação do alinhamento dos concentradores cilindro-parabólicos

em relação à irradiação solar direta.

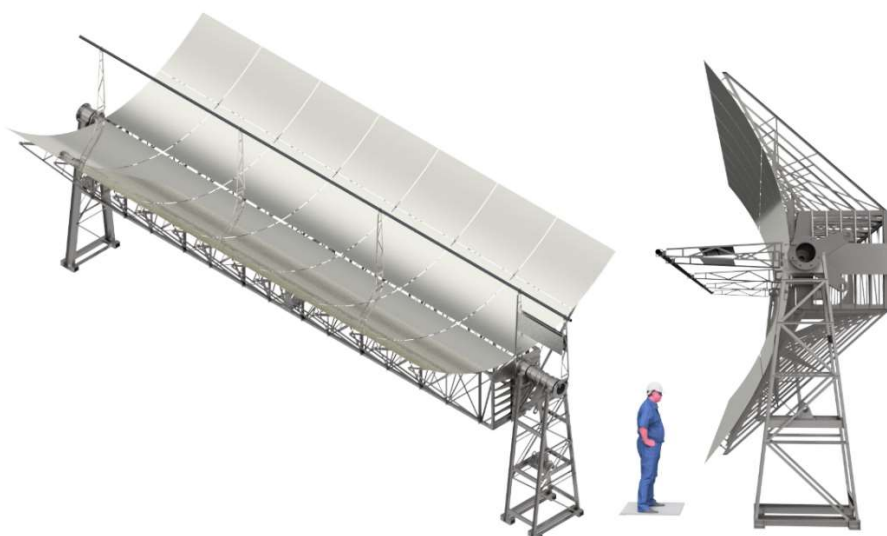


FIGURA 3 – Modelo 3D do concentrador cilindro-parabólico desenvolvido pela Eudora Energia.

3.0 O CONCENTRADOR CILINDRO-PARABÓLICO

O concentrador termossolar desenvolvido tem seu modelo 3D apresentado na Figura 3. Trata-se de um módulo central constituído por espelhos refletivos de vidro, sustentados por uma estrutura espacial que é movimentada através de um eixo central. Na imagem é possível notar o pilar no qual os atuadores lineares serão fixados, sendo os responsáveis pelo movimento do conjunto. As principais características do concentrador são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 – Principais características do concentrador da Eudora Energia.

| ITEM | CARACTERÍSTICA |
|--------------------|--------------------|
| Tipo de espelhos | Substrato de vidro |
| Abertura | 5,3 m |
| Refletividade | > 94% |
| Temperatura máxima | 390 °C |
| Tipo de fluido | Óleo térmico |

3.1 DIMENSIONAMENTO DO TRACKER

Para o dimensionamento do sistema de rastreamento (Tracker) considerou-se um conjunto com dois atuadores lineares do tipo pistão, acionados por um sistema hidráulico a ser apoiado na estrutura do pilar central, conforme ilustrado na Figura 4. Para se determinar as dimensões mínimas, máximas e o curso do atuador realizaram-se simulações em diversas posições do concentrador. A Figura 5 apresenta algumas destas posições. Chegou-se à conclusão de que as dimensões máxima e mínima são, respectivamente, 2615mm e 1368mm. O curso do pistão ficou definido em 1247mm.



FIGURA 4 – Perspectiva do pilar central com o sistema de pistões hidráulicos

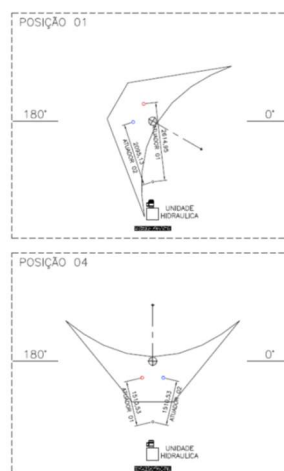
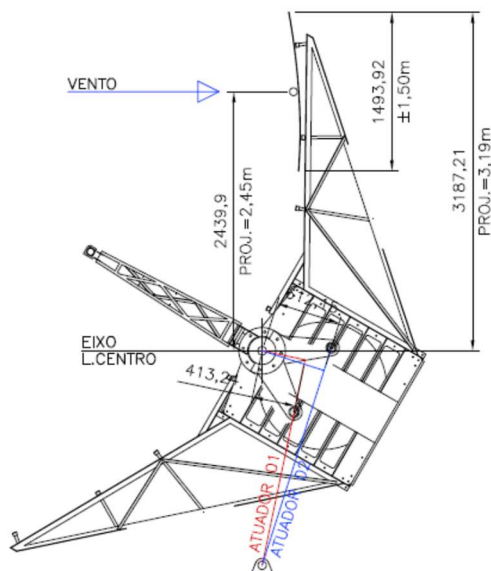


FIGURA 5 – Algumas posições para determinação do curso dos pistões hidráulicos

CENARIO 01



CENARIO 02

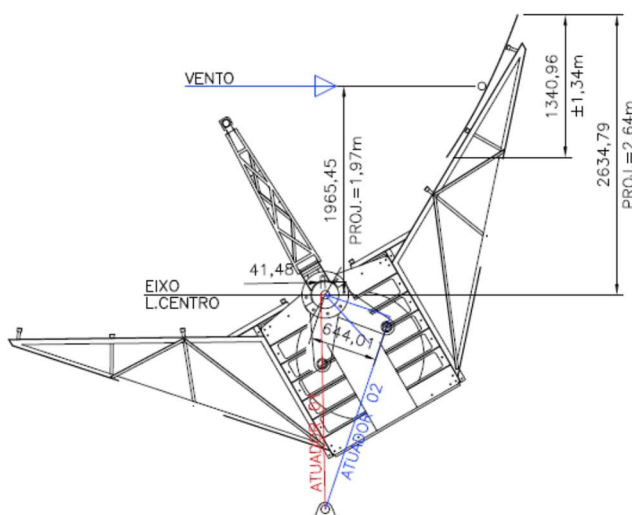


FIGURA 6 – Força necessária para um atuador hidráulico movimentar um SCA, na pior situação de vento

Já para o dimensionamento da força dos atuadores levou-se em consideração a posição do coletor em que o vento exerce uma força que deve ser completamente vencida por cada um dos atuadores, considerando o conjunto de 12 coletores acionados pelo mesmo sistema hidráulico e no pior caso de esforço. A Figura 6 apresenta os cenários analisados.

A metodologia adotada para determinar a força do atuador foi a seguinte:

- Dentro de um mesmo cenário escolheu-se o atuador que demanda menos força (19,6 kN para o atuador 01 e 14,7 kN para o atuador 02).
- Destes dois selecionados escolheu-se a maior força e multiplicou-se por 12, para corresponder à força necessária para movimentar todo um SCA)

Assim, a força mínima necessária para os cilindros é de 240 kN, tanto para avanço quanto para retorno, com velocidade de atuação < 1 mm/s.

4.0 SISTEMA DE CONTROLE

4.1 HARDWARE

O hardware do sistema de controle e acionamento do tracker constitui-se basicamente de um quadro de automação dotado, principalmente, de CLP e inversor de frequência, e que é capaz de acionar a bomba hidráulica e os pistões de acordo com a posição atual do sol e do próprio concentrador.

A caixa que protege os componentes foi desenvolvida totalmente em aço inoxidável polido e com teto protetor, com grau de proteção IP66, sendo adequada para ambiente externo e agressivo. A vida útil projetada para a caixa é bastante elevada, sendo resistente à corrosão e às intempéries climáticas. Possui em suas extremidades grampos para fixação por parafuso na estrutura do coletor termossolar. A Figura 7 apresenta uma foto do interior do quadro e a Figura 8 apresenta uma foto do seu exterior, ambas obtidas durante realização de testes em banca pela Eudora Energia.

O quadro é responsável por gerenciar as seguintes cargas e sensores:

- Bomba hidráulica;
- Cilindros hidráulicos A e B – avanço e recuo;
- Sensor de temperatura central do tubo receptor;
- Sensores fim de curso superior e inferior;
- Sensor de nível de óleo do sistema hidráulico;
- Sensor Inclinômetro;



Figura 7 – Foto interna do quadro de automação e controle do tracker

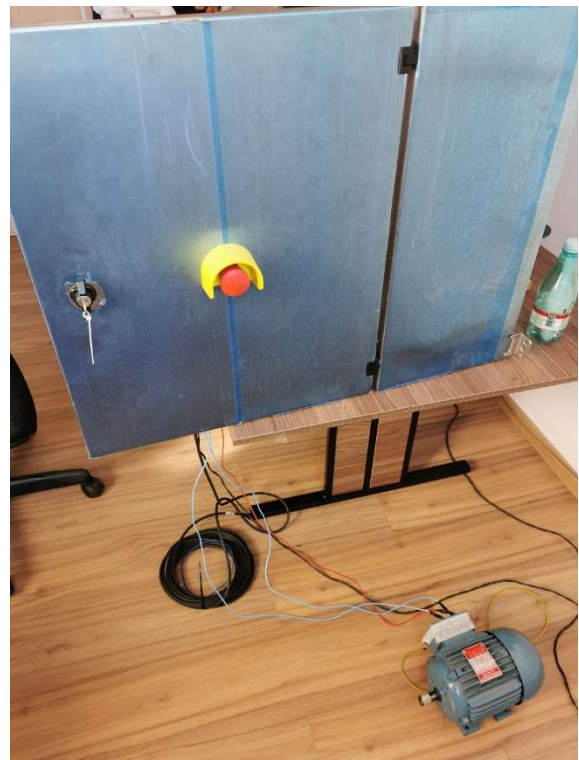


Figura 8 – Foto externa do quadro do tracker sob teste em bancada

4.2 DESCRITIVO OPERACIONAL

O funcionamento do sistema de controle pode ser descrito da seguinte forma:

- O quadro de controle do sistema de tracker é um elemento que necessita receber comandos básicos de um sistema principal. Uma vez recebidos estes comandos, ele é completamente autônomo para executar as funções de posicionamento. Os comandos que devem ser recebidos são:
 - Configuração inicial – parâmetros de localização do concentrador termossolar;
 - Modo de operação – rastreamento solar, desfoque parcial, posição de segurança ou posição de limpeza;
- Rotinas de segurança para validar condições operacionais – sensores fim de curso liberados, botão de emergência não acionado, nível de óleo ok, CPU íntegra, inversor pronto e comunicação estabelecida com o inclinômetro;
- Uma rotina de cálculo do ângulo de posicionamento desejado para o concentrador solar é executada baseada no instante de tempo atual e nos parâmetros de localização;

- É realizada a medição da posição atual do concentrador através do inclinômetro;
- Calcula-se o erro entre a posição atual e a posição desejada. Este erro alimenta um controlador de posicionamento que, se extrapolado um erro admissível, determina se o concentrador deve ser movimentado e para qual sentido;
- Com base na posição atual e no sentido de giro, o controle determina quais cilindros hidráulicos devem ser avançados ou recuados;
- O sistema então aciona a bomba hidráulica e libera o fluxo de óleo, ligando as eletroválvulas correspondentes;
- Quando o erro entre a posição desejada e a posição atual estiver na faixa admissível, o controle interrompe o fluxo de óleo e desliga a bomba;
- A CPU disponibiliza para o sistema de controle central uma série de parâmetros que podem ser buscadas pela rede, como posição solar, ângulo do concentrador, temperatura central do tubo receptor, entre outros;

4.3 SOFTWARE DE CONTROLE

O concentrador termossolar possui um sistema de rastreamento de eixo único que acompanha o ângulo de zênite solar, enquanto o ângulo de azimute permanece fixo. O software para realizar o posicionamento do concentrador termossolar é baseado em um algoritmo que calcula o ângulo de posicionamento ótimo do concentrador para otimizar a geração de energia (5), cujos parâmetros de entrada são calculados através de um algoritmo de posição solar – SPA (6).

A estratégia de controle é utilizar um laço fechado com feedback através do sensor de inclinação. Com o vetor de posicionamento calculado, o algoritmo determina quais as válvulas devem ser acionadas para atingir o ângulo desejado. A Figura 9 apresenta esta topologia de controle.

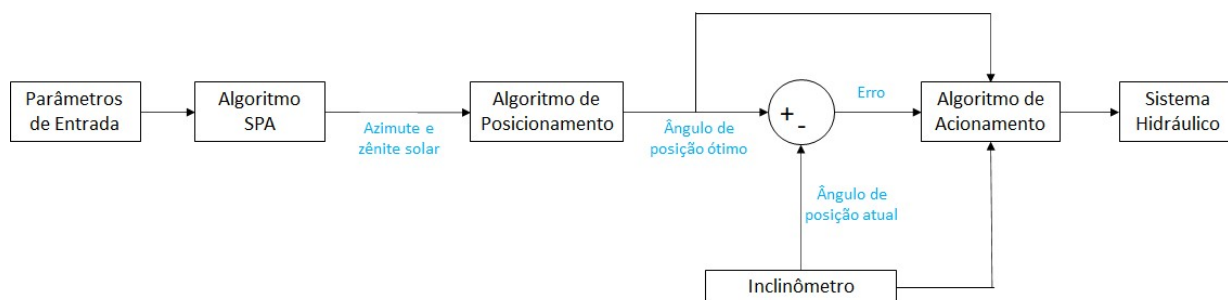


Figura 9 – Topologia de controle do sistema de *tracker*

Parâmetros de entrada

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de entrada para o algoritmo de posição solar. O CLP executa cada ciclo computacional de forma que o controle da Figura 9 seja executado continuamente. Assim, a cada mudança de tempo, o CLP recalcula o vetor de posicionamento do coletor termossolar e, caso o erro entre este vetor e a posição atual esteja acima do máximo valor admitido, o coletor é reposicionado.

TABELA 2 – Parâmetros de entrada do algoritmo SPA.

| PARÂMETRO | UNIDADE | DESCRIÇÃO |
|--------------|-------------------|---|
| UTC | - | Tempo universal coordenado |
| Longitude | Grau [°] | Longitude do local de instalação |
| Latitude | Grau [°] | Latitude do local de instalação |
| Pressão | Milibar [mbar] | Pressão atmosférica média anual |
| Temperatura | Grau Celsius [°C] | Temperatura ambiente média anual |
| Elevação | Metro [m] | Elevação em relação ao nível do mar |
| Delta_T | Segundo [s] | Diferença entre o tempo de rotação da terra e o tempo terrestre |
| AtmosRefract | Grau [°] | Índice de refração atmosférico |

Erro máximo admissível

O erro máximo admissível entre o ângulo de posicionamento ótimo e o ângulo atual do concentrador foi definido como 0,2°. Este valor deve ser otimizado ao longo do comissionamento do concentrador.

Delta_T

A variável Delta_T (ΔT) se refere à diferença entre o tempo de rotação da Terra e o tempo terrestre (7). Para o período entre 2005 e 2050 é calculado pelas equações [1] a [3], onde y refere-se ao ano.

$$\Delta T = 62.92 + 0.32217 * t + 0.005589 * t^2$$

[1]

$$t = y - 2000 * t2 \quad [2]$$

$$y = \text{ano} + \frac{\text{mês} - 0,5}{12} \quad [3]$$

4.3.1 ALGORITMO SPA

Deve empregar um algoritmo SPA para encontrar os ângulos de azimute e o zênite solar com precisão de $\pm 0,0003^\circ$ no período dos anos -2000 a 6000. Devido à complexidade do algoritmo e da quantidade de equações, este trabalho indica a referência (6) ao leitor.

4.3.2 ALGORITMO DE POSICIONAMENTO DO CONCENTRADOR

Com a informação do vetor de posicionamento solar no instante de tempo analisado, obtido pelo algoritmo SPA, pode-se então calcular o ângulo ótimo para posicionamento do coletor termossolar, de forma maximizar a absorção da energia solar. Para tanto é empregado um algoritmo de obtenção do ângulo de rotação do rastreador (5).

Definições

Para melhor entendimento das equações faz-se necessário definir as referências angulares utilizadas por este algoritmo. As seguintes grandezas serão utilizadas:

- β – Inclinação da superfície a partir da horizontal, 0° a 180°
- β_a – Inclinação do eixo do tracker, 0° a $+90^\circ$
- γ – Azimute da superfície, ângulo no sentido horário a partir do norte da projeção da normal da superfície, 0° a 360°
- γ_a – Azimute do eixo do tracker, ângulo no sentido horário a partir do norte da projeção do eixo do tracker, 0° a 360°
- γ_s – Azimute solar, obtido pela equação (46)
- θ – Ângulo de incidência, entre o raio do sol e a normal da superfície, 0° a $+180^\circ$
- θ_z – Ângulo zenital, entre o raio do sol e a vertical, obtido pela equação (44)
- R – Ângulo de rotação do coletor sobre seu eixo quando observado do final inclinado do eixo, -180° a $+180^\circ$

O objetivo do algoritmo é minimizar o ângulo de incidência θ , fazendo com que a normal da superfície do coletor esteja o mais próxima possível do raio solar. A Figura 10 apresenta a geometria para um rastreador de eixo simples, que é o caso do concentrador termossolar, e é utilizada para determinar a relação entre os diversos ângulos envolvidos no cálculo.

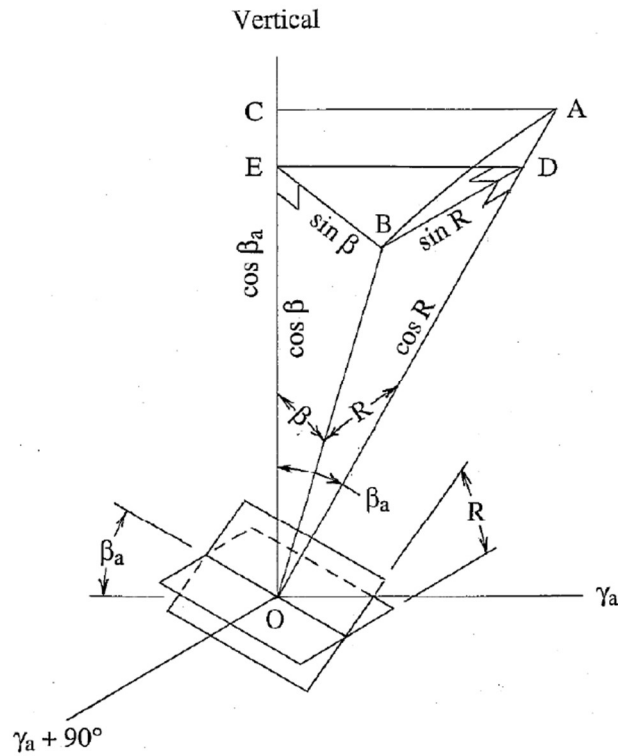


Figura 10 – Geometria para um rastreador de eixo simples

Procedimento de Cálculo

Para rastreadores de eixo horizontal simples, o ângulo de rotação do eixo, R , está limitado entre -90° e $+90^\circ$, e pode ser calculado pela equação [4].

$$R = \arctan [\tan \theta_z * \sin(\gamma_s - \gamma_a)] \quad [4]$$

Com isso, pode-se determinar o ângulo de incidência θ :

$$\cos \theta = \cos R * [\sin \theta_z * \cos(\gamma_s - \gamma_a) * \sin \beta_a] + \cos \theta_z \cos \beta_a + \sin R * \sin \theta_z * \sin(\gamma_s - \gamma_a) \quad [5]$$

Desta forma, o ângulo θ deve ser considerado como o ângulo ótimo para posicionamento do concentrador termossolar, alimentando a malha de controle da Figura 9.

5.0 CONCLUSÃO

Dominar a fabricação de um concentrador cilindro-parabólico para geração heliotérmica é estratégico para a inserção desta fonte na matriz energética brasileira. A nacionalização de tecnologia é fator importante para diminuição da dependência de fornecedores internacionais e deve ser buscada continuamente.

Este artigo apresentou um dos sistemas que compõem o concentrador cilindro-parabólico nacional em desenvolvimento por Eudora Energia e Furnas Centras Elétricas, que permitirá a potencialização desta tecnologia para aplicação em massa no Brasil. Trata-se da primeira iniciativa desta natureza, fruto do recurso de P&D da ANEEL.

A metodologia de desenvolvimento do rastreador solar, tanto do aspecto mecânico quanto eletroeletrônico, foi apresentada, bem como o algoritmo implementado em software para rastreamento da posição do sol.

6.0 AGRADECIMENTOS

À Furnas Centras Elétricas S.A., como proponente do projeto de P&D intitulado “Desenvolvimento de um Coletor Termosolar do Tipo Calha Cilindro-parabólica com Objetivo de Aplicação em Geração de Energia Elétrica” (Nº ANEEL PD-0394-1718/2017), tendo como executora a empresa Eudora Energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) GAZOLI, J. R.; PONCE JR, N.; SOUZA, S. P.; PASCHOALOTTO, L. A.; SOUZA, O. J. Dimensionamento Básico do Campo Solar de Concentradores Cilindro-Parabólico da Usina Termosolar Porto Primavera. Anais do VII Congresso Brasileiro de Energia Solar. Gramado, Brasil. 2018.
- (2) REEKEN, F.; ARBES, S.; WEINREBE, G.; WÖHRBACH, M.; FINKBEINER, J. Parabolic Trough CSP Technology: State of the Art and Market Overview. Projeto Energia Heliotérmica. Brasília. 2014.
- (3) FERNÁNDEZ-GARCÍA, A.; ZARZA, E.; VALENZUELA, L.; PÉREZ, M. Parabolic-trough solar collectors and their applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews. vol. 14. n. 7. p. 1695-1721. 2010.
- (4) GÜNTHER, M.; JOEMANN, M.; CSAMBOR, S. Advanced CSP Teaching Materials: Chapter 5 – Parabolic Trough Technology. EnerMENA. DLR. 2011.
- (5) NREL. “Rotation Angle for the Optimum Tracking of One-Axis Trackers”. Julho de 2013.
- (6) NREL. “Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications”. Janeiro de 2008.
- (7) Morrison, L. V., & Stephenson, F. R. Historical values of the Earth's clock error ΔT and the calculation of eclipses. Journal for the History of Astronomy, 35(3), 327 - 336.

DADOS BIOGRÁFICOS



Jonas Rafael Gazoli nasceu em Americana-SP em 1983. Tem Graduação (2008) e Mestrado (2011) em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Esteve com o grupo de Eletrônica de Potência da Universidade de Pádua, Itália (2008-09), trabalhando com conversores eletrônicos para módulos fotovoltaicos de geração distribuída. Em 2013 recebeu o Prêmio Vale-Capes de Ciência e Sustentabilidade como melhor dissertação de mestrado. Suas áreas de pesquisa são geração solar fotovoltaica e geração heliotérmica.

(2) MOACIR ALEXANDRE SOUZA DE ANDRADE

Engenheiro Civil (UFMG), Mestre em Estruturas e Tecnologia de Concreto (UFG), MBA Gestão Estratégica da Inovação (UNICAMP), MBA Mercado de Capitais (IPOG), Especialista em Estruturas (UFMG), MBA em Gestão Empresarial (Universidade Candido Mendes). Atua atualmente nas áreas de Gestão, Qualidade, Inovação, P&D, Mercado de Capitais, Materiais, Energia Fotovoltaica, Energia Termosolar.

(3) ROBERTO M. G VELÁSQUEZ

Roberto Velásquez é Sócio-Diretor da Facto Energy. Antes de fundar a Facto Energy, foi Gerente de Energia para América Latina no escritório da ICF International. Roberto possui mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ e graduação pela PUC(Chile). Trabalhou durante seis anos no Grupo NEOENERGIA, atuando como executivo nas distribuidoras COELBA e CELPE. Trabalhou no CEPEL durante quatro anos. Foi responsável pela instalação da filial de MG da empresa Publiimagem desenvolvendo projetos para CEMIG. Tem experiência como consultor no Chile, Angola, Reino Unido e Uruguai.

(4) ALESSANDRO SETE

Engenheiro Mecânico pela UFU (1997). Coordenou projetos de sistemas de geração de energia elétrica e eficiência em Usinas Sucroalcooleiras. Projetos e implementação de sistemas para reaproveitamento de calor de processo e recuperação de energia térmica. 2015, pesquisas de geração de vapor a partir da Energia Heliotérmica com ênfase na tecnologia de calhas parabólicas

Atua nos projetos de P&DI de Usina Heliotérmica nos projetos da chamada pública ANEEL nº 19 CESP e Eletrosul e no desenvolvimento de um CSP Furnas x Eudora, com o propósito de desenvolver e maximizar o conteúdo nacional de um SCE - elementary concentration system..

(5) FLAVIO DE LIMA VIEIRA

Engenheiro Civil atuando no departamento de construção da Empresa Eletrobras Furnas, com passagem como gestor substituto do complexo de laboratórios do Centro Tecnológico, no qual foi possível atuar em diferentes projetos de P&D: geração solar em sinergia com armazenamentos em hidrogênio e baterias; geração por sistemas termosolar do tipo calha; desenvolvimento de turbinas eólicas de baixa velocidade. Na carreira participou na manutenção quanto na construção de novos empreendimentos de geração e transmissão desde 2002, agregando conhecimentos com pós graduação em Gestão e Gerenciamento de Obras e mestrado pela Universidade Federal de Goiás.

(6) NELSON PONCE JUNIOR

- Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar (2011) com experiência em processo térmicos que utilizam energia termosolar (energia heliotérmica) na geração elétrica ou para a obtenção de calor de processo.- Trabalha desde 2017 na Eudora Energia em projetos de P&D com a tecnologia de concentradores cilindro-parabólicos (Parabolic Trough) e em projetos de eficiência energética.- Possui conhecimentos metalúrgicos nas áreas de usinagem, fundição, tratamentos térmicos, conformação mecânica, corrosão, análise de falhas e soldagem, além de processamentos de polímeros e cerâmicas.