

USINA TERMELÉTRICA SOLAR EXPERIMENTAL UTILIZANDO CONCENTRADORES CILÍNDRICO-PARABÓLICOS

Alexandre Heringer Lisboa – e-mail: ahlisboa@cemig.com.br

Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig

José Poluceno P. Vieira Braga – e-mail: jp.engemarc@uol.com.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Cefet-MG

2.4 Coletores de concentração e fogões solares

Resumo. *O alto nível de incidência de radiação solar em território brasileiro e a experiência acumulada com a energia solar, a torna fundamental para o setor energético nacional. Assim, a Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig e o Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Cefet-MG, iniciaram um projeto de P&D visando construir, operar e avaliar o desempenho de uma mini usina termelétrica solar na faixa de 10 kW, utilizando concentradores cilíndrico-parabólicos e buscando o máximo de nacionalização de materiais e equipamento. Nesse trabalho são descritas as características da tecnologia utilizada, os desafios, as inovações estudadas, os principais problemas apresentados e as soluções encontradas. Este projeto de P&D foi aprovado junto a Agência Nacional de Energia Elétrica- Aneel.*

Palavras-chave:

Energia Solar, Concentradores Solares, Concentrador Cilíndrico-Parabólico. Termelétrica Solar,

1-INTRODUÇÃO

A geração distribuída tem recebido atenção especial de vários países, que enxergam nesse grupo uma grande alternativa para o fornecimento de energia para localidades isoladas.

Desde 1982 a CEMIG vem pesquisando a aplicação de fontes alternativas de energia em seu parque gerador. Com isso vem acumulando grande experiência e conhecimento tecnológico nessa área, notadamente em energia solar, eólica, biomassa, PCH, células a combustível e hidrogênio.

No tocante à energia solar, o alto grau de conhecimento e experiência acumulada nesse campo por concessionárias e centros de pesquisa nacionais e o alto nível de incidência de radiação

solar em nosso território, faz com que essa fonte de energia tenha um papel fundamental a cumprir dentro do setor energético nacional.

Uma das mais promissoras aplicações da energia solar para a geração de energia elétrica no mundo, tem sido a utilização de concentradores cilíndrico-parabólicos, utilizando a tecnologia SEGS - Solar Electric Generating System, composta por concentradores cilíndrico-parabólicos.

No estado da Califórnia, EUA se encontra a maior capacidade termelétrica solar do planeta, com um total de 354 MW, utilizando a tecnologia SEGS. A partir da reativação dos fundos setoriais, com a edição da Lei 9991/00, financiando o Programa de Pesquisa e Desenvolvimento do Setor Elétrico, foi colocada em prática uma antiga idéia de se construir, a partir de nossa própria experiência e visando utilizar o máximo de equipamentos disponíveis no mercado nacional, uma pequena unidade termelétrica solar baseada na tecnologia de concentração por concentradores cilíndrico-parabólicos.

Dessa forma, buscando algumas alternativas no sentido de nacionalizar ao máximo todo o processo e reduzir custos, a CEMIG iniciou em Julho de 2001, junto com o CEFET-MG, um projeto que visa construir, operar e analisar a performance de uma mini usina termelétrica solar experimental, na faixa de 10 kW, utilizando concentradores cilíndrico-parabólicos. Esse projeto foi aprovado junto à Aneel, dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico,

2-DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

Por possuir um caráter experimental e diante da limitação da oferta total de recursos disponíveis pelo Programa de P&D referido anteriormente, o custo do projeto teve que ficar contido a um certo limite. Assim, o dimensionamento do sistema teve de obedecer a essas restrições. Após uma análise de custos de vários tamanhos de sistemas térmicos solares disponíveis no mercado mundial, concluiu-se que a potência do sistema deveria se situar em torno de 10 kW elétricos no pico.

Diante da decisão de tentar conseguir o máximo possível de nacionalização dos serviços e equipamentos, utilizar materiais alternativos e criar uma competência técnica no assunto, através da absorção de conhecimento técnico e das experiências já tentadas no mundo, optou-se pela escolha de alumínio anodizado de alta reflexão ao invés de espelhos, para a construção da área refletora e a construção de um absorvedor cilíndrico de aço, envolvida por uma superfície de vidro de alta transmitância e evacuada no seu interior.

2.1- Concentradores cilíndrico-parabólicos

Em muitas aplicações térmicas da energia solar, são necessárias temperaturas de trabalho mais elevadas do que as normalmente fornecidas por coletores solares planos. Essas podem ser obtidas nos chamados coletores solares concentradores. Esses coletores têm seu funcionamento baseado na refração ou reflexão dos raios solares que incidem na superfície de lentes convexas ou num material de alta refletividade, geralmente espelhos, e são concentrados em um

absorvedor central linear ou pontual, de área menor que a área da lente ou dos espelhos (área refletora). Os tipos de concentradores mais conhecidos são os pratos parabólicos, os heliostatos com torre central e os concentradores cilíndrico-parabólicos, cujos esquemas são mostrados na Figura 1.

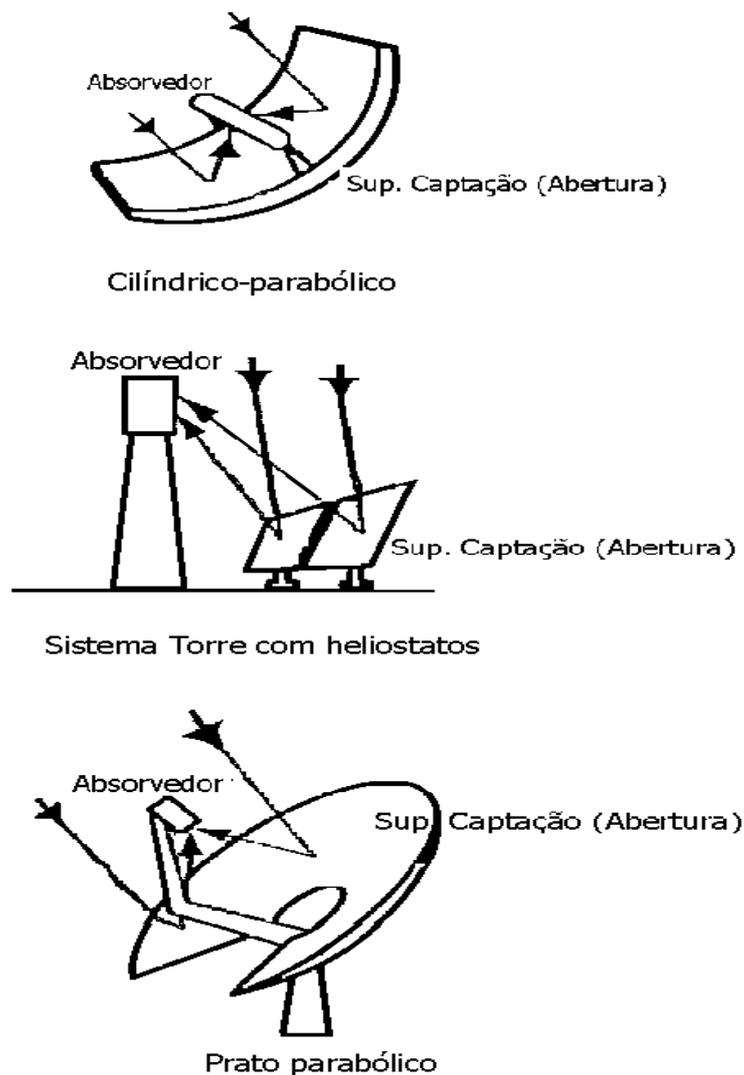


FIGURA 1 - TIPOS DE CONCENTRADORES SOLARES

Concentradores cilíndrico-parabólicos são dispositivos com formato cilíndrico e superfície refletora com seção parabólica, que tem por objetivo refletir sobre uma superfície tubular chamada absorvedor, situada ao longo da linha focal da parábola, toda a radiação solar incidente na área de captação da radiação solar (abertura x comprimento).

Quando a relação entre a área da superfície refletora e a área da superfície absorvedora, denominada fator de concentração (FC) é elevada, somente a componente direta da radiação solar global tem utilização efetiva. Conseqüentemente, para avaliar o potencial energético disponível para a utilização de concentradores solares, é fundamental conhecer os níveis dessa componente da radiação.

Essa radiação concentrada sobre o absorvedor, provoca um grande aumento da temperatura em

um fluido contido no interior desse tubo, sendo esse calor, então, usado em um ciclo termodinâmico para a geração de vapor e de eletricidade.

O dimensionamento dos concentradores foi inicialmente previsto com base num rendimento total do sistema considerando uma potência elétrica em torno de 10 kW. A partir daí foi dimensionado todo o sistema térmico. Ou seja, com base na energia térmica que poderia ser convertida pelo concentrador solar foram feitos os cálculos para o dimensionamento da turbina, condensador, gerador de vapor, tanques etc, considerando os rendimentos médios desses componentes.

Devido á necessidade de constante acompanhamento in loco e diante da facilidade de deslocamento dos técnicos envolvidos no projeto experimental, ficou decidido que a usina deveria se localizar em terreno cedido do próprio Cefet-MG, na Unidade de Ensino Superior, Campus II. A instalação no Cefet-MG também permite a utilização de parte da infra estrutura existente.

De acordo com nossas projeções, para uma potência de 10 kW serão necessários 450kg/h de vapor. Com o objetivo de reduzir custos do empreendimento, decidiu-se projetar a usina experimental, com sistema geminado, utilizando parcialmente a energia solar complementada por energia de óleo combustível (aproveitando a caldeira existente).

Diante disso nossas análises nos levaram, após sucessivas interações com o dimensionamento do sistema de concentradores solar, a definir um tamanho de área de abertura suficiente para gerar um mínimo de vapor necessário ao processo.

O tamanho dos módulos e sua disposição no terreno que dispúnhamos foi feito com base na propriedade da superfície parabólica e na posição geográfica e tamanho desse terreno. A abertura da parábola é função da distância focal da mesma, ou seja, do local onde passará o absorvedor onde é concentrada a radiação solar.

Essa distância, por sua vez, depende de fatores como o ângulo horário solar útil e, interativamente, da própria abertura da parábola, que foi também influenciada pelo comprimento das placas de alumínio anodizado encontrado no mercado, para facilitar sua fabricação e reposição. O comprimento de cada módulo foi definido, também, em função de um múltiplo da largura dessas placas de alumínio, que tem as dimensões 2500x1250x0,5 mm. Posteriormente, projetamos e testamos outro tamanho de abertura dos concentradores, de modo a reduzir o *rim angle* e encontrarmos a abertura mais otimizada para o nosso caso.

O diâmetro do tubo que constitui o absorvedor é, por sua vez, dimensionado em função da dispersão da reflexão da radiação solar, da distância focal e influencia no fator de concentração (FC) do concentrador. O FC é a razão entre a abertura da parábola e o diâmetro do absorvedor e sinaliza a máxima temperatura que o absorvedor pode atingir. Quanto maior o FC maior é a temperatura, porém maior a precisão que temos ter no sistema ótico.

Também foi considerado, no cálculo do diâmetro do tubo absorvedor, a sua resistência mecânica, via espessura da parede dos tubos comercialmente disponíveis no mercado nacional. Dessa forma, para que tivéssemos um desempenho e relação custo-benefício otimizados, foi selecionado um tubo de aço inox com diâmetro de 48,3 mm sch 40.

Diante dessas considerações, foi projetado um módulo, que será a unidade do conjunto dos concentradores, nas dimensões de 3.440 mm de abertura, 3750 mm de comprimento e distância focal de 1.121 mm. O tubo de vidro que o envolverá terá aproximadamente 75 mm.

Para que a área total do sistema de concentradores solar (abertura x comprimento) atinja a máxima possível para a geração de vapor, levando em consideração a área do terreno disponível, foi redimensionado, um sistema composto por 3 linhas de concentradores, compostas cada uma, por 5 módulos de 3750 mm de comprimento e 3.400 mm de abertura (antes 2146 mm), perfazendo uma área total de abertura de 191m², resultando em FC aproximadamente igual a 71 (antes 43), projetando uma temperatura no absorvedor em torno de 260 a 280°C.

2.2. O sistema de produção de vapor e eletricidade

Com a definição da potência elétrica média com que trabalharíamos e antes mesmo do dimensionamento do concentrador, procedeu-se a uma pesquisa, via folhetos, manuais e pela Internet, da turbina e do gerador elétrico no mercado nacional e internacional, compatíveis com a potência na faixa de 10 kW.

A identificação dessa turbina, pelo seu pequeno tamanho e baixo rendimento, constitui-se fator crítico para o projeto. Mesmo com fornecedores estrangeiros deparamos com enormes dificuldades em obter os dados técnicos que precisávamos, além do custo quase proibitivo, se comparando com o montante destinado de todo o projeto. Devido ao pequeno porte da Usina optamos por usar vapor saturado ao invés de superaquecido, com o objetivo de evitar o uso de um superaquecedor, que encareceria o Projeto. Finalmente contatamos um fabricante nacional que se dispôs a fornecer uma turbina a vapor saturado de 10kW de potência.

3- FUNCIONAMENTO DA USINA

Diante da limitação imposta pelo terreno e visando adequar o nosso orçamento, optou-se fazer captação de energia solar, correspondente 15% do total requerido para gerar 10kW elétricos. O sistema trabalhará acoplado a uma caldeira a óleo combustível já existente, completando o restantes. A Figura 3 mostra o fluxograma da usina com seus principais componentes.

A Usina será constituída por dois circuitos básicos:

- Circuito Primário : Constituído pelo campo solar e sistema de fluido térmico.
- Circuito Secundário : Constituído pelo sistema de vapor, turbina-gerador elétrico

3.1 Circuito primário

O circuito primário é formado pelo campo solar constituído pelos espelhos concentradores parabólicos de alumínio polido especial que captam a energia para aquecimento do fluido térmico. As principais características de seus componentes são:

3.1.1 Sistema de Fluido Térmico Fase Líquida:

- Temperatura do fluido á saída do campo solar: 260-280°C
- Temperatura do fluido á entrada do campo solar:
240-260°C
- Vazão do fluido: 10 a 12.000 l/h

3.1.2 Gerador solar de vapor :

- Trocador de calor do tipo casco e tubos
- Capacidade de produção de vapor: 80 kg/h
- Pressão de trabalho: 10 bar
 - Fonte de calor: fluido térmico
 -

3.1.3 Tanque de expansão do fluido térmico:

Absorve a dilatação do fluido e permite a pressurização do sistema com nitrogênio.

3.1.4 Sistema de Bombeamento:

Promove a circulação do fluido térmico no campo solar e gerador de vapor.

3.1.5 Tanque de dreno:

Constitui uma reserva adicional de fluido térmico e possibilita a drenagem do sistema para manutenção. O tanque de dreno possui um controlador de nível de segurança do Fluido no circuito.

3.1.6 Instrumentação e controle:

O circuito primário possui um sistema de controle de pressão, vazão e temperaturas do fluido térmico.

3.2 Circuito Secundário

Circuito Secundário recebe o vapor dos concentradores e o complementa com a geração de vapor através de uma caldeira convencional a óleo combustível, que vai suprir o acionamento da turbina. As características dos componentes relacionados com o circuito secundário são:

3.2.1 Gerador Elétrico:

- Potência: 10 kW
- Rotação: 1800 rpm
- Tensão: 220V
- Frequência: 60Hz

3.2.2 Turbina a Vapor:

- Turbina a vapor do tipo simples estágio
- Consumo de vapor: 450 kg/h
- Pressão do vapor á entrada: 9 bar
- Pressão do vapor na descarga: atmosférica
- Regulador mecânico-hidráulico com uma válvula de regulação na admissão de vapor

3.2.3 Condensador a Ar

- Trocador de calor do tipo casco e tubos
- Pressão de condensação: atmosférica
- Vazão de vapor: 450 kg / h

3.2.4 Gerador de Vapor

- Tipo Flamotubular existente.
- Capacidade para atender até 100% da capacidade da - Usina na falta de energia solar.

- Capacidade de produção de vapor: 550 kg/h-saturado
- Temperatura da água de alimentação: 80°C
- Pressão de trabalho: 10 bar
- Fonte de calor: Óleo combustível tipo A1
PCI = 9.500 kcal/kg
Rendimento térmico: 85%

3.2.5 Desaerador:

Tanque que recebe o condensado proveniente do Condensador e opera como tanque de água de alimentação dos dois geradores de vapor.

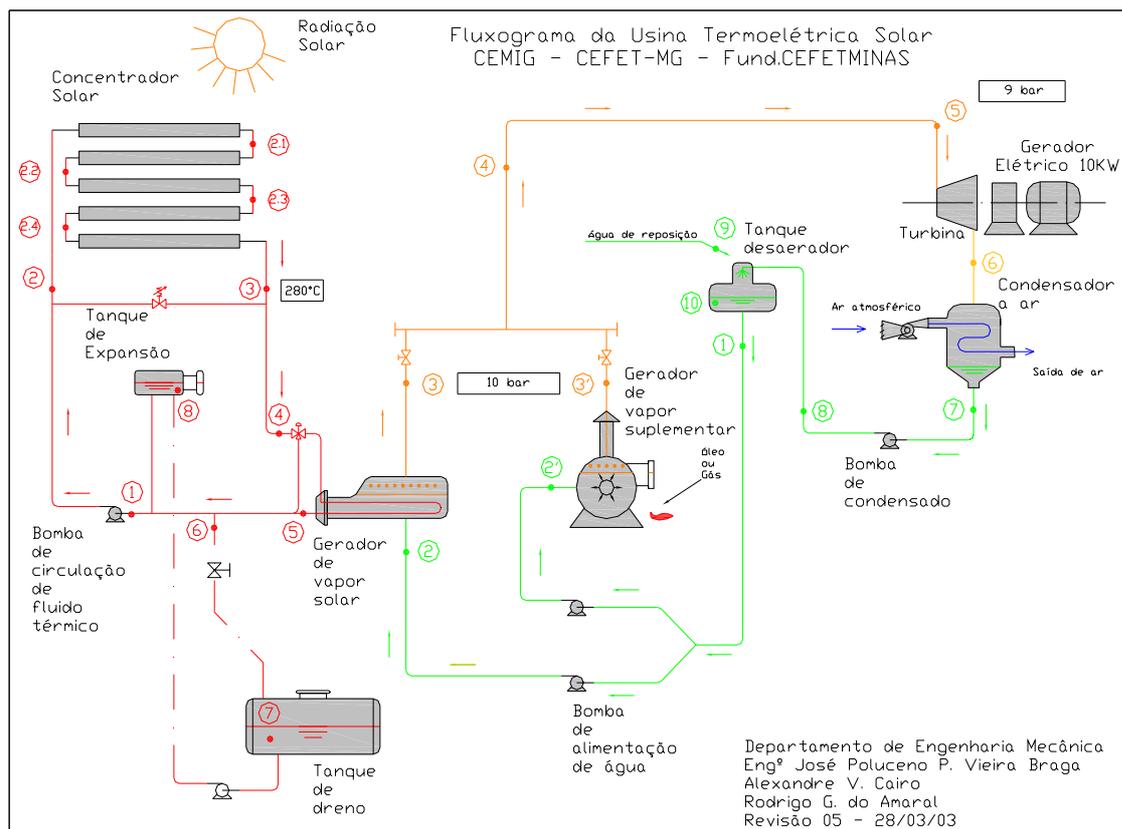


FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DA USINA TERMELETRICA SOLAR

4-CONCLUSÃO

O projeto, que representa um enorme desafio tecnológico, deverá estar concluído totalmente no próximo ano. Seu maior objetivo é obter uma amostragem da tecnologia de um sistema alternativo de eletricidade térmica solar que utilize concentradores cilíndrico-parabólicos e empregue o máximo de equipamentos e materiais nacionais. Conforme os resultados desse projeto, será tentada a montagem de uma usina de maior porte, onde se espera que os ganhos de escala e o conseqüente aumento de rendimento do Sistema, a torne viável economicamente em futuro próximo, para sua utilização como geração distribuída.

5-REFERÊNCIAS

Duffie J.A. and Beckman W.A., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley Interscience, New York.

Price, H.& Kearney, D., 1999, *Parabolic.Trough Tecnology Roadmap*, Sun.Lab/NREL, CO and Kearney and Associates, CA, USA.

Rabl, A., 1976, *Comparison of Solar Concentrators*, *Solar Energy*, vol. 18, pp. 93.111.

Stine, W. B., 1987, *Power from the Sun Principles of High Temperature Solar Thermal Technology*, SERI (Solar Energy Research Institute), U.S. DOE .

Lisboa, A.H., 2000, *Radiação solar direta a partir da global para uso potencial de concentradores solares. Estudo de casos: Minas Gerais e Paraíba*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba.

Braga, J. P.V., 2002, Geradores de Vapor, CEFET-MG

Abstrat. The high level of solar irradiation over brazilian territory and the accumulated experience on solar energy became as fundamental this source for the national energy sector. So, Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) and Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais(CEFET-MG) joint their efforts in order to build, to operate and to study the performance of a small scale solar thermal plant, around 10 kW, using solar troughs and searching the most possible nationalization of material and equipament. In this work are described this tecnology, the challenges, the innovations, the problems end solutions found. This P&D project was aproved by Agência Nacional de Energia Elétrica –ANEEL.

Key Words: Solar Energy, Solar concentrator, Solar troughs, Solar thermal plant,