

UTILIZAÇÃO DE COLETOR PLANO SOLAR DE SUPERFÍCIE SELETIVA NA SUBSTITUIÇÃO DO GÁS GLP, UTILIZANDO O CONCEITO DE FRAÇÃO SOLAR, PARA O PRÉ AQUECIMENTO DO GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA EM USINA TERMELÉTRICA

Jose Bione M. F.^{1,2}, A. Silva², C. Salviano².

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)¹
Mestrado Profissional em Tecnologia da Energia - Universidade de Pernambuco (UPE)²
Tel. +55 81 3229-2194 – Mobile +55 81 99604-2025 e-mail: jbionef@bol.com.br

Recibido 11/08/16, aceptado 08/10/16

RESUMO: O setor industrial mundial representa 27,32% da demanda de energia. No Brasil, o setor termelétrico de geração de energia se destaca quanto ao uso de combustível fóssil, visando atenuar, este trabalho apresenta uma solução para o pré aquecimento dos motores de uma usina termelétrica. A utilização de coletores solares planos de superfície seletiva ($> 100^{\circ}\text{C}$) são aplicados na substituição do gás GLP em plantas termoelétricas. A Usina Termelétrica de Energia Elétrica - Termocabo através de um projeto de P&D, implantou um sistema termosolar em sua planta de 45 MW. Este trabalho tem como objetivo uma análise técnica e avaliação econômica do uso de coletores solares planos de superfície seletiva, incluindo um sistema de armazenamento de energia térmico com uma autonomia de 15 horas. O sistema é constituído por uma bateria de coletores associados a um sistema de armazenamento, que controla um fluxo térmico com temperatura 65°C .

Palavras chave: energia solar, termelétrica, termosolar, coletor solar plano.

INTRODUÇÃO

Apesar de existir abundante literatura sobre o uso adequado de fontes renováveis para geração de energia, a utilização dessa energia renovável para a indústria não tem o mesmo nível de abundância, apesar da indústria participar com aproximadamente um terço do consumo de energia global. Atualmente as energias renováveis representam 13% do consumo global total e 9% do consumo de energia para fins industriais, sendo 8% proveniente de biomassa, com baixa participação de outras fontes, inclusive a solar (Taibi et al.2012).

No Brasil, a matriz energética tende a ser cada vez mais diversificada devido à necessidade de maior confiabilidade no fornecimento, além do crescente aumento da demanda. Devido a diversificação de tecnologias disponíveis no Brasil, faz com que se busque alternativas de menor impacto ao meio ambiente. A possibilidade de substituir a geração de eletricidade por combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia, seja convencional ou não, permitirá que os combustíveis fósseis sejam descartados, devido a sua perspectiva de redução da sua oferta, aliada aos problemas ambientais que seu uso acarreta. Restando o uso de fontes renováveis, como alternativa, o uso da energia solar como solução natural para o nosso país, que tem um ótimo índice de radiação solar.

A matriz elétrica Brasileira tem como predominância às hidrelétricas, contudo, a grande participação das usinas termelétricas na produção de energia elétrica é bastante forte, pois visa à garantia no fornecimento de energia. As termelétricas tem em seu principio de funcionamento a liberação da energia em forma de calor, geralmente pela combustão de produtos como carvão natural, óleo combustível, madeira e gás natural. Em geral, a queima desses combustíveis libera resíduos poluentes na atmosfera, causando diversos impactos ambientais.

Embora existam diferentes tipos de usina termelétrica, cada qual utilizando um combustível diferente, seu funcionamento é praticamente o mesmo: o material é queimado em uma câmara de combustão, e o calor gerado aquece uma caldeira de água, gerando vapor em alta pressão. Esse vapor d' água, por sua vez, move as pás de uma turbina que está conectada ao gerador de eletricidade, fazendo com que ele funcione. Em seguida, o vapor é resfriado, voltando à caldeira em estado líquido. Outra forma é a

utilização de motores de queima direta de combustível, neste processo os motores devem sempre encontrar-se pré aquecido, para acelerar o processo de despachabilidade.

Em contrapartida aos impactos ambientais e os gastos com combustível, as termelétricas têm como vantagem a possibilidade de construção em locais próximos aos centros consumidores, o que permite economia com as redes de transmissão e evita perdas de energia elétrica. Além disso, a produção é constante, uma vez que não depende de situações climáticas — como é o caso das hidrelétricas, que podem ter a capacidade reduzida em períodos menos chuvosos. Atualmente, o Brasil possui 2379 usinas termelétricas outorgadas de origem fóssil, o que representa 17,53% da potência instalada no Brasil. Deste quantitativo, 2.204 são plantas térmicas que usam combustível a partir do petróleo, representando 37,58% da potência disponível para entrarem em operação. Este quantitativo é responsável pela geração de aproximadamente um quinto da capacidade total do País. A representação das usinas termelétricas na matriz energética do Brasil é de grande importância, pois, além da disponibilidade de despacho, proporciona a garantia no fornecimento de energia. Assim, ações que visam mitigar o uso de combustíveis fósseis no processo de geração de energia elétrica através das termelétricas sempre proporcionam ganhos ambientais bastantes significativos. A proposta deste trabalho visa aplicar a tecnologia de coletores planos de superfícies seletivas para o pré-aquecimento dos motores a combustão, evitando o uso do GLP em caldeiras. Apresentamos a viabilidade técnica e econômica, além do ganho ambiental, com a redução de emissão de CO₂.

Estudos realizados por Mekhilef *et al.* (2011) afirmam não ser abundante a literatura sobre as aplicações da energia solar na indústria e destacam certos tipos de aplicações industriais mais compatíveis com a integração de sistemas de energia solar. Mostram que atualmente as fontes de energia convencionais constituem quase 80% do consumo global de energia e geralmente produzem energia em larga escala, mas que aplicações de cozimento e aquecimento de pequena escala são um boa opção para o uso de energia renovável. Destacam que a importância da energia para o setor industrial é muito grande, sobretudo em quatro grandes setores: construção, agricultura, mineração e manufatura, principalmente para alimentar motores elétricos, gerar ar comprimido e aquecer caldeiras. Continuando, justificam que a escassez global deste recurso, os custos elevados e os impactos ambientais negativos, têm levado a indústria a buscar métodos eficazes e econômicos para capturar, armazenar e converter a energia solar em energia útil para aplicações industriais, sendo esta abundante, gratuita e limpa, não gera ruído ou poluição ao meio ambiente. As aplicações de energia solar na indústria estão divididas em fotovoltaica e térmica, esta considerada a mais econômica dentre as energias renováveis, utilizada para obtenção água quente, vapor, secagem e processos de desidratação, pré-aquecimento, pasteurização, esterilização, lavagem, limpeza, reações químicas, aquecimento do ambiente industrial, preparação de alimentos, transformação de plástico, construção, indústria têxtil e estabelecimentos de serviço, e que sistemas solares podem ser integrados a um típico sistema, geralmente composto por fonte de alimentação, planta de produção, recuperação de energia e sistema de refrigeração, como se pode ver na Figura 1.

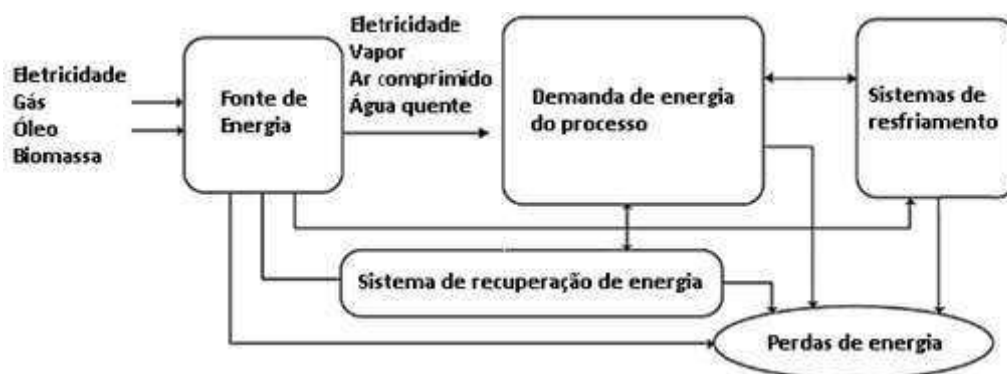


Figura 1: Sistema de energia industrial típico.

Sistemas de aquecimento solar podem ser utilizados tanto como fonte de alimentação para sistemas de aquecimento, quanto diretamente em etapas do processo produtivo, como mostra a Figura 2.

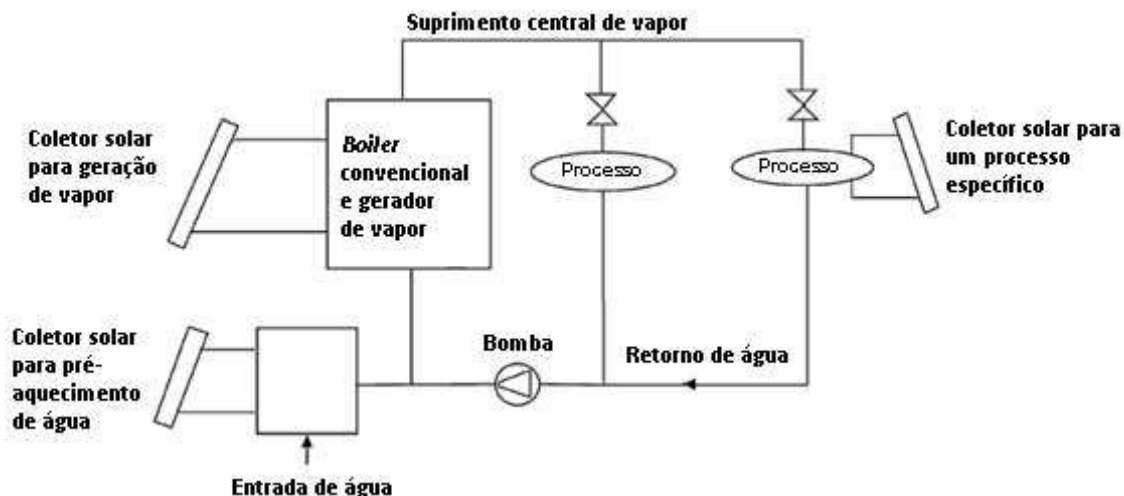


Figura 2: Integração de coletor solar em sistema térmico industrial.

Ao contrário dos combustíveis fósseis, nem todos os níveis de temperatura necessários aos processos industriais podem ser fornecidos pelas fontes de energia renovável, sendo que os custos aumentam conforme aumenta o nível de temperatura necessária, e que para aplicações de baixa temperatura (abaixo de 100°C), o aquecimento solar é uma opção adequada. Os custos variam também com a intensidade de radiação solar disponível por região e da configuração do sistema de aquecimento. Maior eficácia é obtida com sistemas simples em áreas de radiação abundante. Em muitos casos os sistemas solares térmicos são mais baratos quando fabricados localmente. Estimam que até 2050 o uso de energia de origem renovável pela indústria seja de 21% do consumo total, o que inclui a geração de calor de processo a partir de energia solar térmica.

METODOLOGIA

Dentro do que foi apresentado a **Usina Termoeletrica TERMOCABO** iniciou um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento - P&D, com vistas à implementação de coletores solares planos com superfície seletiva em substituição ao gás GLP para o pré-aquecimento da água utilizada nos motores da usina. Essa questão passa pela compreensão das relações existentes entre desenvolvimento sustentável, modernidade, liberdade, mercado, cidadania, e, principalmente, da relação entre a falta de acesso à energia e o conhecimento tecnológico. Dada abrangência desses aspectos, concentra-se a atenção nos marcos regulatórios da indústria de energia brasileira e na utilização de aquecimento de água com energia solar pelas indústrias nacionais. O Brasil recebe elevados níveis de incidência da radiação solar praticamente durante todos os meses do ano, inclusive no mês de junho, correspondente ao solstício de inverno para o Hemisfério Sul.

A distribuição média diária da radiação global por região do País é: Norte 5.462 Wh/m²; Nordeste 5.688 Wh/m²; Centro-Oeste 5.630 Wh/m²; Sudeste 5.478 Wh/m²; Sul 5.015 Wh/m². Esses altos índices de radiação solar podem proporcionar uma ampla utilização de coletores solar para o aquecimento de água, principalmente, no setor industrial, podendo ser aplicado na redução de combustíveis à base do petróleo, reduzindo, inclusive, a emissão de CO₂ na atmosfera.

Diante da importância da questão, o presente projeto de pesquisa visa à análise técnica e à avaliação econômica da utilização de coletores solares, em substituição do gás natural para o pré-aquecimento de água, a ser utilizada nos motores da usina Termocabo. Para uma melhor compreensão da metodologia a ser utilizada para o desenvolvimento do Projeto de P&D, os procedimentos encontram-se subdivididos em **etapas**. A proposta inicial é composta de 06 (seis) etapas, conforme discriminado a

seguir, que deverão ser adaptadas, quando necessário, ao funcionamento da Planta de Geração da Usina Termo Cabo. A Figura 1 apresenta o Esquema Básico da Proposta e deverá servir de onde referência para as futuras comparações com projeto executivo final.

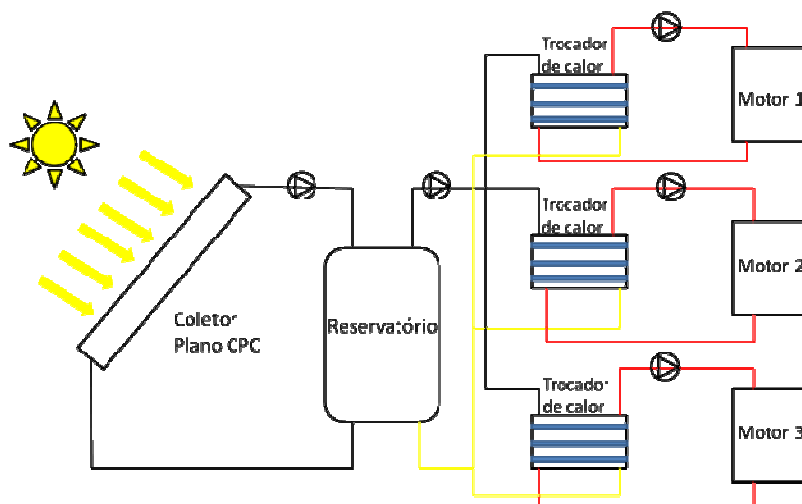


Figura 3: Esquema Básico Proposto.

O objetivo principal está em implantar um sistema de coletores solares em substituição ao gás GLP para o pré-aquecimento da água utilizada nos motores da Usina Termocabo. Para tal, se fez necessário a realização do levantamento dos dados da Planta da Termocabo para subsidiar os projetos básicos e executivos do Sistema Solar; o levantamento das características dos equipamentos instalados na Termocabo para subsidiar as especificações e dimensionamento dos Equipamentos a serem adquiridos; analisar o comportamento térmico da água+aditivo utilizado nos motores e pesquisar a radiação média mensal na região da localização da Termocabo.

Modelagem matemática – fração solar

Para a concretização deste trabalho foi necessário realizar um trabalho prévio no que diz respeito ao desenvolvimento de algumas equações matemáticas. Tendo por base algumas equações já conhecidas, foram desenvolvidas equações referentes ao parâmetro da fração solar f , o qual representa a relação entre a energia fornecida pelo sol nos coletores e a energia necessária ou carga térmica. De modo a avaliar o comportamento de um sistema solar térmico ativo num dado local e num dado perfil de utilização é necessário conhecer alguns parâmetros e características do sistema. A energia necessária ao aquecimento do volume de água quente, designa uma carga térmica necessário para atender a demanda. Este parâmetro depende do consumo médio diário de água quente, o qual se mantém constante a aplicação deste trabalho. O modelo tem por base as seguintes equações:

$$f = \frac{Q_{solar}}{Q_{CT}} \quad (1)$$

onde f é a fração solar, Q_{solar} é a energia fornecida pelo sol e Q_{CT} é a energia necessária (carga térmica), em $kWh/mês$ e é fornecida pela equação (2);

$$Q_{CT} = 0,00116 \times V_{cons} \times NH \times ND \times (T_{utiliz} \cdot T_{rede}) \quad (2)$$

onde V_{cons} é o volume de água consumido por dia e por máquina l/dia , NH é o número de máquinas geradoras, ND é o número de dias do mês, T_{utiliz} é a temperatura de utilização da água em $^{\circ}C$, e T_{rede} é a temperatura da água da rede em $^{\circ}C$. Para estimar o valor de Q_{solar} (Energia fornecida pelo sol), existem vários métodos de cálculo que permitem avaliar o comportamento de um sistema solar. Um dos mais comuns é o método f -chart, o qual permite a obtenção da fração solar de um determinado sistema através da leitura de cartas, valores de tabelas e interpretações gráficas. Ao longo deste trabalho tentou-se “traduzir” todas estas cartas para relações matemáticas, bem como o

desenvolvimento e simplificação de equações já existentes. Assim, de um modo simplificado, consegue introduzir-se estas equações num código computacional, tendo em vista a obtenção de um resultado rápido e preciso. No método *f-chart*, para determinar a fração solar média para cada mês, é necessário calcular dois coeficientes, X e Y . Segundo este método as equações apresentadas são as seguintes:

$$X = X_0 \times C_1 \times C_2 \quad (3)$$

$$X_0 = \frac{0,024 \times ND \times K \times (100 - \bar{T}_{amb}) \times A}{Q_{CT}} \quad (4)$$

$$Y = \frac{\bar{I} \times \bar{\eta}_o \times ND \times A}{Q_{CT}} \quad (5)$$

onde, ND é o número de dias do mês, T_{amb} é a temperatura média ambiente exterior, K é o coeficiente de perdas do coletor ($W/m^2/^\circ C$), A é a área útil de coletores (m^2), η_o é o rendimento óptico médio do coletor e I é a radiação média mensal incidente na superfície dos coletores ($kWh/m^2/dia$). A partir deste momento, segundo o método *f-chart*, a fração solar deve ser determinada com base na leitura de gráficos e cartas, introduzindo os parâmetros calculados pelas fórmulas acima apresentadas.

O fator C_1 é um fator que depende da área de coletores e do volume de armazenamento. A partir da Figura 4, foi possível obter a equação 6.

Uma vez que a capacidade de acumulação (volume do depósito) faz variar a fração solar, torna-se necessário fazer a correção deste valor. Esta correção é feita através do fator C_1 . Começou-se então por deduziu-se a seguinte equação para o fator de correção C_1 :

$$C_1 = -4 \times 10^{-8} \times Z^3 + 3 \times 10^{-5} \times Z^2 - 0,007 \times Z + 1,425 \quad (6)$$

onde Z é o volume em litros do reservatório/depósito.

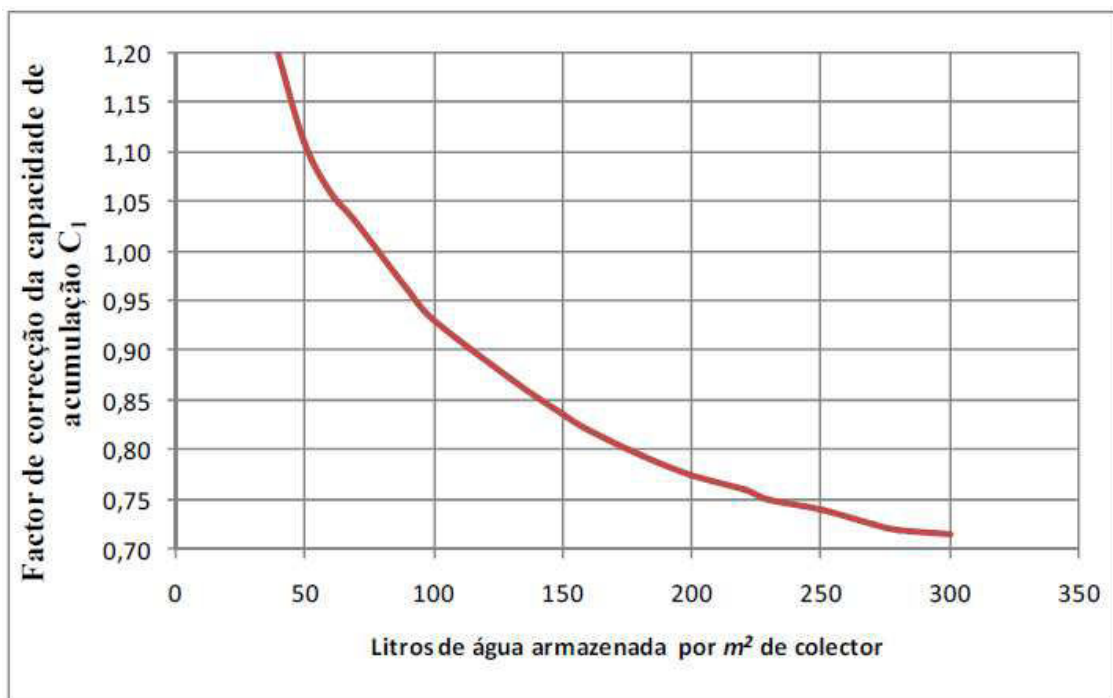


Figura 4: Fator de correção da capacidade de acumulação (C_1)

O fator C_2 é necessário uma vez que a temperatura à qual a água vai ser utilizada (temperatura de utilização), condiciona o comportamento do sistema. Para o fator de correção C_2 , deduziu-se as seguintes expressões:

$$C_2 = \begin{cases} -0,016 \times \bar{T}_{amb} + 1,21 & T_{utiliz} = 40 \\ -0,014 \times \bar{T}_{amb} + 1,32 & T_{utiliz} = 50 \\ -0,013 \times \bar{T}_{amb} + 1,434 & T_{utiliz} = 60 \\ -0,011 \times \bar{T}_{amb} + 1,544 & T_{utiliz} = 70 \\ -0,01 \times \bar{T}_{amb} + 1,666 & T_{utiliz} = 80 \end{cases} \quad (7)$$

Usando ferramentas adequadas, foram simplificadas algumas equações de modo a obter expressões mais reduzidas possíveis. Depois de serem trabalhados alguns pressupostos obtiveram-se as equações abaixo apresentadas.

$$Y = \frac{0,8103448276 \times \bar{T} \times \eta_o \times A}{V_{cons} \times NH \times (T_{utiliz} - T_{rede})} \quad (8)$$

Depois de interligar e simplificar todas as equações anteriores, obtivemos diversas relações matemáticas, as quais por si só permitem determinar o parâmetro da fração solar f , deste modo as equações permitiram a determinar a fração solar, consequentemente a redução de emissão de CO_2 , mediante a utilização de GLP. Economia que viabiliza a utilização de sistemas de coletores solares em plantas de termelétricas.

Esta análise permitiu que pudéssemos elaborar o sistema termossolar para atender a demanda de carga térmica solicitada pelos motogeradores da Usina TermoCabo. O dimensionamento iniciou com o levantamento da carga térmica, baseado nos conceitos da termodinâmica.

Modelagem matemática – transferência de calor

Sempre que existe uma diferença de temperatura entre dois meios distintos, ocorre necessariamente transferência de calor, (Cengel, Yunus,A.2002). A transferência de calor ocorre sempre do meio com maior temperatura, para o meio com menor temperatura. Pode definir-se transferência de calor como sendo a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura (Cengel, Yunus,A.2002). Num coletor solar podem coexistir três tipos de processos de transferência de calor, convecção, condução e radiação.

A pesquisa esta focada no processo de radiação, que consiste na troca de calor através de ondas electromagnéticas. Toda e qualquer matéria emite energia sob a forma de ondas electromagnéticas.

Esta energia é resultante da mudança nas configurações dos elétrons que constituem os átomos ou moléculas. Contudo o valor do calor transferido entre dois corpos pode ser expresso pela equação 9:

$$\dot{Q}_{1 \rightarrow 2} = A_1 \times F_{1 \rightarrow 2} \times \sigma \times (T_1^4 - T_2^4) \quad (9)$$

Onde σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$), $F_{1,2}$ é o fator de forma entre o emissor e o receptor, A é a área do emissor e T são temperaturas absolutas. A radiação é o mecanismo de transferência de calor que permite o ganho de calor do coletor solar. É esta que dita a quantidade de calor que o coletor absorve. A importância deste mecanismo de transferência de calor no funcionamento de um coletor solar é explicada em detalhe no ponto seguinte.

Qualquer sistema solar térmico é composto por uma unidade de captação da radiação solar, uma unidade de armazenamento do calor e uma unidade de distribuição/utilização do calor. Por norma um sistema solar é constituído por um coletor solar, reservatório, permutador, unidade de controlo, sistema de apoio e ainda por uma bomba hidráulica se for o caso de um sistema de circulação forçada. Existem várias tecnologias de conversão solar térmica, as quais podem-se diferenciar consoante as gamas de temperatura de utilização. Assim sendo, podem distinguir-se 4 principais gamas de temperaturas e as respectivas tecnologias associadas: baixas temperaturas (até cerca de 90°C); médias temperaturas (de 90 a 150°C); elevadas temperaturas (de 150 a 300°C) e muito elevadas temperaturas (maiores que 300°C). Mediante levantamento técnico junto ao operacional da usina, classificamos o sistema como médias temperaturas.

O primeiro passo foi a determinação da demanda total de vapor dos principais equipamentos da Usina Termocabo, composta por três motores geradores, totalizando uma potência instalada de 48MW.

Ao analisar a carga térmica em um ou mais itens da planta com as equações de transferência de calor, pode ser possível obter uma estimativa para o consumo de vapor. O modelo matemático para cada equipamento utiliza as equações de balanço de massa e balanço de energia em volumes de controle, que foram transcritas em uma linguagem de programação apropriada ao desenvolvimento de aplicativos de natureza técnica. As cargas térmicas consideradas neste estudo foram: 1 Storage (1495.0m³), 1 Buffer (85.8m³), 1 Day (176.0m³), 3 Lub Oil Separator (5.0m³), 3 Fuel Oil Separator (5.9m³) e 3 Preheater Engine (5,5m³).

A pressão do vapor é de 7 bar g em qualquer ponto do sistema e a caldeira é capaz de manter continuamente esta pressão. O calor de evaporação para 1 kg de vapor @ 7 bar g é de 0.566 KW1. É sabido que o total de calor em 7 bar g de vapor é de 0,700kW (660,8 kcal ou 2764 kJ encontrado em tabelas de vapor). Contudo, o condensado ainda contém um pouco de calor que não é liberado, sendo completamente seguro usar o valor indicado. Equações utilizadas:

Equação de transferência de Energia (equação 10).

$$Q = mC_p \Delta T \quad (10)$$

A função de transferência de calor nos coletores solares é obtida utilizando-se a equação de Hottel-Whillier-Bliss (Smith e Weiss, 1977), equação 11:

$$\dot{Q}'_{SC}(\dot{\epsilon}) = A_{SC} f [I_r(\dot{\epsilon})(\tau\alpha) - U_{SC}(T_{SC}(\dot{\epsilon}) - T_{amb}(\dot{\epsilon}))] \quad (11)$$

A dinâmica da *boiler* é descrita pela equação 12 (Duffie e Beckman, 1980):

$$c_F \rho V_{bo} \frac{\partial T_{bo}}{\partial t} = \dot{Q}'_{bo}(\dot{\epsilon}) + \dot{Q}'_{SC}(\dot{\epsilon}) + \dot{Q}'_{cons}(\dot{\epsilon}) + \dot{Q}'_{loss}(\dot{\epsilon}) \quad (12)$$

Na Figura 1, a “água fria” dos reservatórios térmicos, que devido às características físicas, se encontra na parte inferior dos mesmos, é bombeada, passando pelos coletores, retornando ao reservatório. Este processo é controlado pelo controlador ARISTON da seguinte forma: Quando a temperatura T1 do

coletor for maior que a temperatura T2 do reservatório por uma constante pré-ajustada, é acionado a bomba de circulação de água. A “água quente” que sai do reservatório térmico segue para os trocadores de calor, puxada por uma segunda bomba, localizada após o trocador de calor, onde perde calor e retorna para o reservatório térmico.

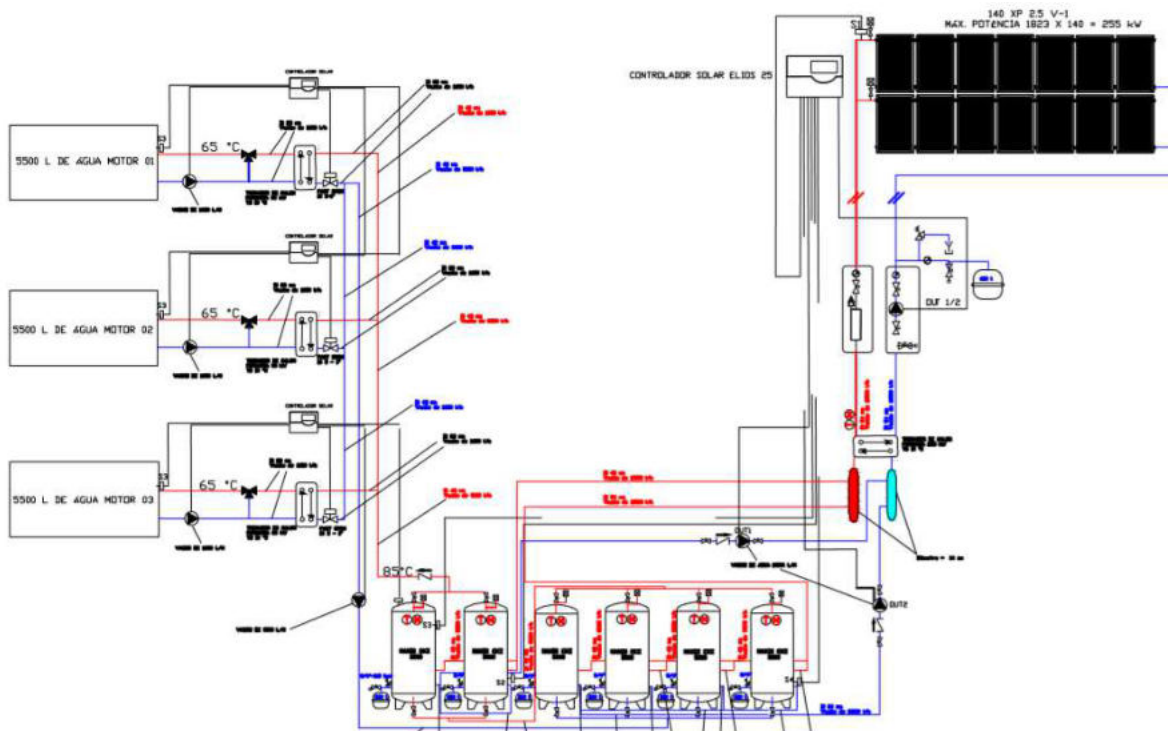


Figura 5: Esquema do projeto executivo.

No secundário do trocador de calor, a válvula misturadora permite ajustar a temperatura da água fornecida ao bloco do motor, quando a temperatura da água resultante do aquecimento solar for suficiente para atender as necessidades do bloco do motor. Nessa configuração, a válvula desviadora, controlada por um controlador BUDERUS, faz com que a “água fria” do bloco do motor, bombeada por uma terceira bomba, passe pelo lado direito do trocador de calor, recebendo o calor do sistema de aquecimento solar e retornando ao bloco do motor. Caso a temperatura atingida com o mesmo não seja suficiente, a válvula desviadora faz com que o bloco do motor receba a água do reservatório simulador da caldeira, onde, em nosso caso, a água é aquecida com o uso de resistência elétrica. A figura 5 mostra o esquema do projeto executivo, dividido em três blocos independentes, sendo interligados através de sistema de trocador de calor.

A figura 6 apresenta as baterias de coletores instalados na cobertura, em um total de 140 coletores, divididos em dois grandes blocos, permitindo uma flexibilidade operacional e uma segurança ao sistema. Na figura 7, representa o sistema de armazenamento energético, composto de 6 tanques de 3 mil litros, sendo 6 mil litros utilizados para a troca direta ao bloco do motor gerador, e os quatro restantes, garantem uma autonomia de 24 horas de abastecimento. A figura 8 representa o sistema de trocador de calor utilizado para manter o bloco do motor gerador a uma temperatura estável acima de 65°.



Figura 6: Sistema de coletores completo, formado por 140 coletores térmicos.



Figura 7: Sistema de Armazenamento.



Figura 8: Sistema de trocador de calor de 5.000 litros.

Comissionamento e resultados

Para um sistema que passa a fazer uso de energia renovável, é esperado que haja, de imediato, uma diminuição no consumo de combustível fóssil. Ao substituir a cara e poluente energia do GLP pela solar, o custo com combustível é reduzido a zero, sendo esta uma solução economicamente atraente. Com a implantação do sistema de aquecimento solar, é esperado que este seja capaz de suprir a demanda energética para o aquecimento das máquinas da usina quando esta não puder fornecer tal energia de maneira autônoma, isto é, com o reaproveitamento dos seus rejeitos térmicos. O sistema de aquecimento deve fornecer tanta energia quanto a queima do GLP, que é a atual solução para o caso das máquinas estarem fora de operação e precisarem ser acionadas. Foram realizados, ao término da implementação do sistema, uma série de ensaios para avaliar o comportamento das trocas de calor, seu potencial de aquecimento e o tempo necessário para tais processos.

O primeiro grupo de ensaios busca analisar como se dá a aquisição de calor pelos reservatórios térmicos ou recuperação solar. Este processo é feito com o sistema de abastecimento do secundário (circuitos dos motores) fechado, ou seja, o calor levado aos tanques não é utilizado, apenas armazenado. O segundo grupo de ensaios avalia o mecanismo de troca de calor entre os tanques acumuladores de energia e os blocos de motores. O ensaio leva em consideração o pior cenário possível: o sistema atuando sem reposição solar, como em um dia nublado ou à noite. Para alcançar este efeito, o circuito dos coletores foi fechado, impedindo a reposição de energia para os tanques pelo calor vindo das placas solares.

O objetivo deste primeiro grupo de ensaios é investigar a processo de aquisição de calor pelos reservatórios térmicos. O acompanhamento é feito a partir da medição das temperaturas em pontos chaves do conjunto de tanques. Para a realização destes ensaios houve o impedimento do funcionamento do sistema de aquecimento das máquinas através do bloqueio dos controladores. A análise foi feita em dois momentos. No primeiro momento, buscou-se avaliar a evolução das temperaturas a partir de um estado de baixa energia até o máximo de ganho obtido em um dia. E, no segundo, o desenvolvimento da configuração térmica até que o sistema atingisse a temperatura de serviço. Uma reprodução gráfica nos auxilia a entender a evolução das temperaturas em um dia.

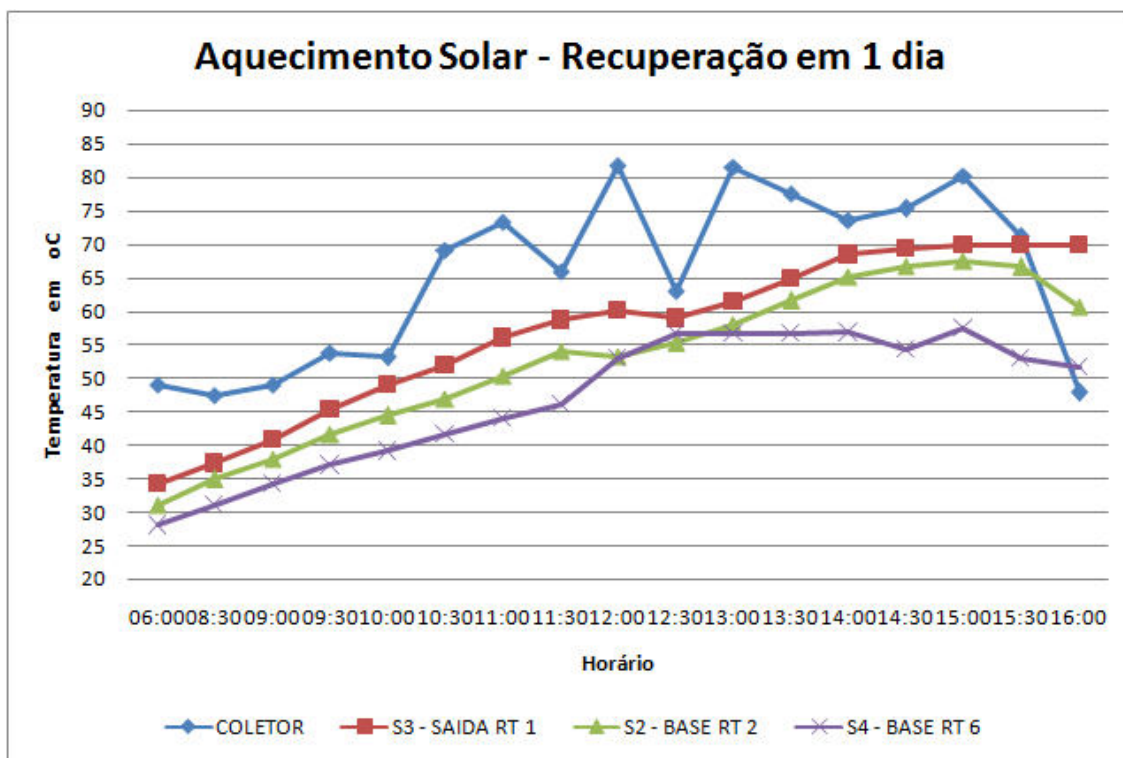


Figura 9: Curva de aquecimento do sistema e os pontos de controles.

O gráfico da figura 9 reproduz o comportamento das temperaturas neste primeiro momento. Os dados obtidos nos mostra que o sistema atingiu, em aproximadamente oito horas, uma carga térmica que permitiu atingir a temperatura de 70°C na parte superior dos tanques e 52°C na parte inferior, fornecendo 18000 l de água aquecida a uma temperatura média de 61°C. Na condição de sol entre nuvens, no inverno, os tanques saíram de uma temperatura de 35°C no ponto mais quente a uma temperatura de 65°C. Nota-se que após as 14h o ganho é praticamente nulo devido à condição climática desfavorável.

O ensaio realizado no segundo momento mostra o comportamento do aquecimento dos tanques solares em dois dias, tempo necessário para a obtenção da temperatura de projeto. No primeiro dia, em condição de tempo nublado, no inverno, os tanques saíram de uma temperatura de 72,2°C no ponto mais quente a uma temperatura de 80,8°C em 1 hora e 45 minutos. Nota-se que após às 12:30h o ganho é praticamente nulo principalmente devido às muitas nuvens e à chuva.

CONCLUSÕES

O sistema encontra-se 100% operacional, tanto a parte de Geração de Energia como a pré-Heat Solar, sendo fundamental para garantir confiabilidade, desempenho e prontidão do sistema, a contratação de empresa especializada para a realização de manutenção preventiva periódica e corretiva, assim como também é recomendável, para o período inicial de utilização do sistema, a contratação de Operação Assistida para que os usuários do sistema possam ter acompanhamento de um técnico especialista nas primeiras ocasiões de operação da Pré-Heat Solar.

Foi realizado o ensaio do comportamento de aquecimento de um motor em um dia. A figura 10 apresenta o comportamento do processo, tendo como referencia o controle dos tanques de armazenamento, com o valor inicial obtido de 77°C, o sistema de recuperação solar conectado, com uma recuperação de temperatura, o motor obteve um ganho de cerca de 20 graus, nas duas primeiras horas, partindo de cerca de 30 para 80°C. Até a quarta hora do ensaio o motor foi de 30 a 90°C, não havendo mais ganho após esse tempo. Para essa faixa de temperatura, quando há uma diferença menor que 4°C, o sistema de transferência de calor é desconectado, a fim que possamos manter a temperatura nos blocos dos motores em 65°C.

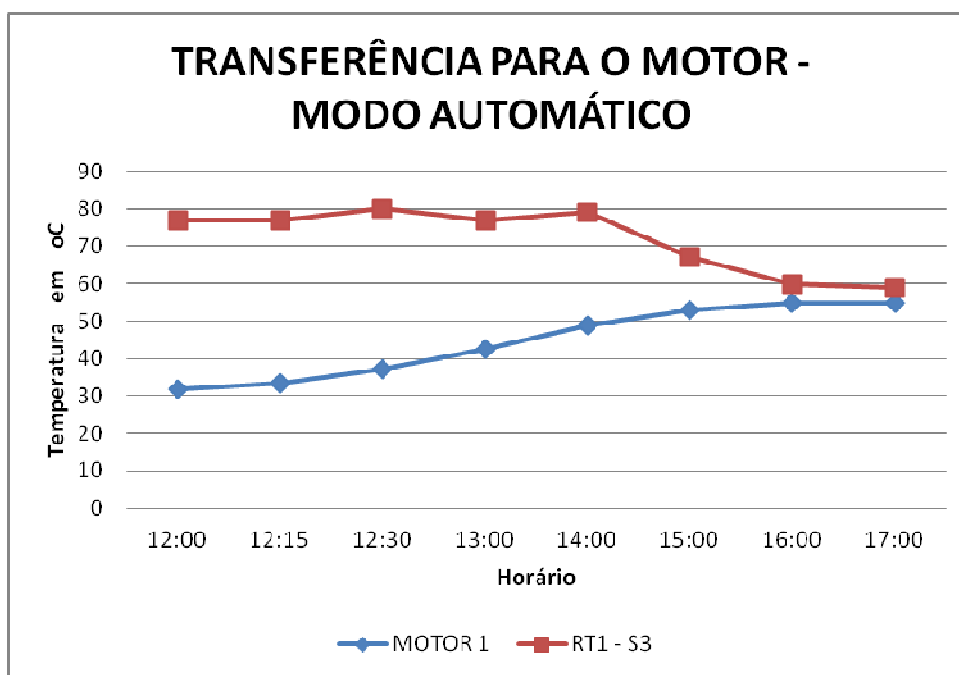


Figura 10: Curva de troca de calor solar

O sistema apresentou um comportamento conforme o calculado, contudo, se faz necessário um acompanhamento do sistema, devido a sua complexidade. O seu desempenho está sendo monitorado, além de um futuro trabalho de análise de manutenção.

REFERÊNCIAS

- Duffie, J., & Beckman, W. (1980). *Solar engineering of thermal processes*. NASA STI/Recon Technical Report A (Second., p. 919). New York: John Wiley & Sons.
- Smith, C. C., & Weiss, T. A. (1977). Design application of the Hottel-Whillier-Bliss equation. *Solar Energy*, 19, 109– 113. Retirado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0038092X77900470>.
- T. Tomson, (2008), Discrete two-positional tracking of solar collectors, *Renewable Energy* 33, 400–405.
- C.A. Estrada (2013), Heat transfer analysis in a calorimeter for concentrated solar radiation measurements, *Solar Energy* 81, 1306–1313
- A. Borges, (2009), *Energia Solar*, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- V. Trillat-Berdal (2012), Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors, *Applied Thermal Engineering*, 1750–1755.
- Yunus A. Çengel (2001) “Termodinâmica”, terceira edição, Mc Graw Hill.
- Collares-Pereira, Manuel (1998), “Energias Renováveis, a opção inadiável”, Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Lisboa.
- Incropera, Frank P. e DeWitt, David P., 2002, “Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Fifth Edition.

ABSTRACT

The global industrial sector represents 27.32% of the energy demand. In Brazil, the thermoelectric sector power generation stands on the use of fossil fuel, to mitigate, this paper presents a solution to the preheating of the engine of a thermal power plant. The use of solar collectors selective surface planes ($> 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) are applied in the replacement of LPG in thermoelectric plants. The Thermal Power Plant Electricity - Termocabo through an R & D project, implemented a thermosolar system in its 45 MW plant. This study aims a technical analysis and economic evaluation of the use of flat solar collectors selective surface, including a thermal energy storage system with a battery life of 15 hours. The system comprises a collector associated with a battery storage system that controls heat flow with temperature $65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Keywords: solar energy, thermoelectric, thermosolar, flat solar collector.