



ENEPEX

ENCONTRO DE ENSINO,
PESQUISA E EXTENSÃO

8° ENEPE UFGD • 5° EPEX UEMS

DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ENERGIA SOLAR TÉRMICA PARA O AQUECIMENTO DE ÁGUA PARA UTILIZAÇÃO EM UM HOTEL DE MÉDIO PORTE LOCALIZADO NA CIDADE DE DOURADOS-MS.

Janaína Schultz Soares¹; Mônica Joelma do Nascimento Anater¹; Ramon Eduardo Pereira Silva²

UFGD-FACET, Rodovia Dourados-Itahum, km 14, E-mail: jana.schultz@gmail.com

¹ Graduadas em Engenharia de Energia pela Universidade Federal da Grande Dourados.

² Professor do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal da Grande Dourados.

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma análise energética e econômica da implantação de um sistema solar térmico para fins de banho em um hotel de médio porte na cidade de Dourados/MS. Foram dimensionadas as áreas dos painéis solares e levantados os custos dos investimentos para dois diferentes casos. O caso 1 dimensionou um sistema para níveis de radiações solares ocorridas no verão, onde a energia faltante no inverno (quando a radiação é menor) seria comprada da rede. O caso 2 é um sistema dimensionado para atender o pior caso, o inverno, onde por consequência do nível de radiação ser menor, o número de painéis exigidos para suprir a demanda de energia térmica é maior e superior ao necessário para o primeiro caso, porém, devido ao superdimensionamento, a instalação não necessitará consumir energia elétrica da rede durante todo o ano. Foi feita por fim uma análise econômica utilizando o cálculo de VPL e Payback, e se chegou à conclusão de que o superdimensionamento da instalação é mais atrativo economicamente do que a compra de energia complementar da rede.

Palavras-chave: Energia solar térmica, sistema de aquecimento sanitário, sistema passivo direto.

INTRODUÇÃO

Considerada uma fonte inesgotável a energia solar é caracterizada como a que possui maior potencial de expansão de utilização. Por ser renovável possui menores impactos ambientais do que fontes consideradas não renováveis, como os derivados do petróleo, por exemplo. Está incluída dentro do conceito de “geração distribuída”, ou seja, uma de suas principais vantagens é que não necessita de expansão das linhas de transmissão.

O aproveitamento da energia solar pode se dar de duas formas: utilizando painéis solares para captura de energia solar e a transformação em energia elétrica (energia solar fotovoltaica); ou utilizando painéis solares que tem por finalidade o aquecimento de água, para utilização tanto residencial como comercial e industrial (energia solar térmica). A energia solar térmica tem aplicações residenciais, em piscinas, em secagem ou aquecimento industrial, etc. (ANEEL, 2013)

O Brasil é um país privilegiado em termos de radiação solar, pois durante o dia essa radiação varia de 8 a 22 MJ/m² (Figura 1). As menores radiações registradas estão nos meses de maio a julho, onde a radiação varia de 8 a 18 MJ/m². Apesar desse potencial, a participação do sol na matriz energética nacional ainda é bastante reduzida (ANEEL, 2013).

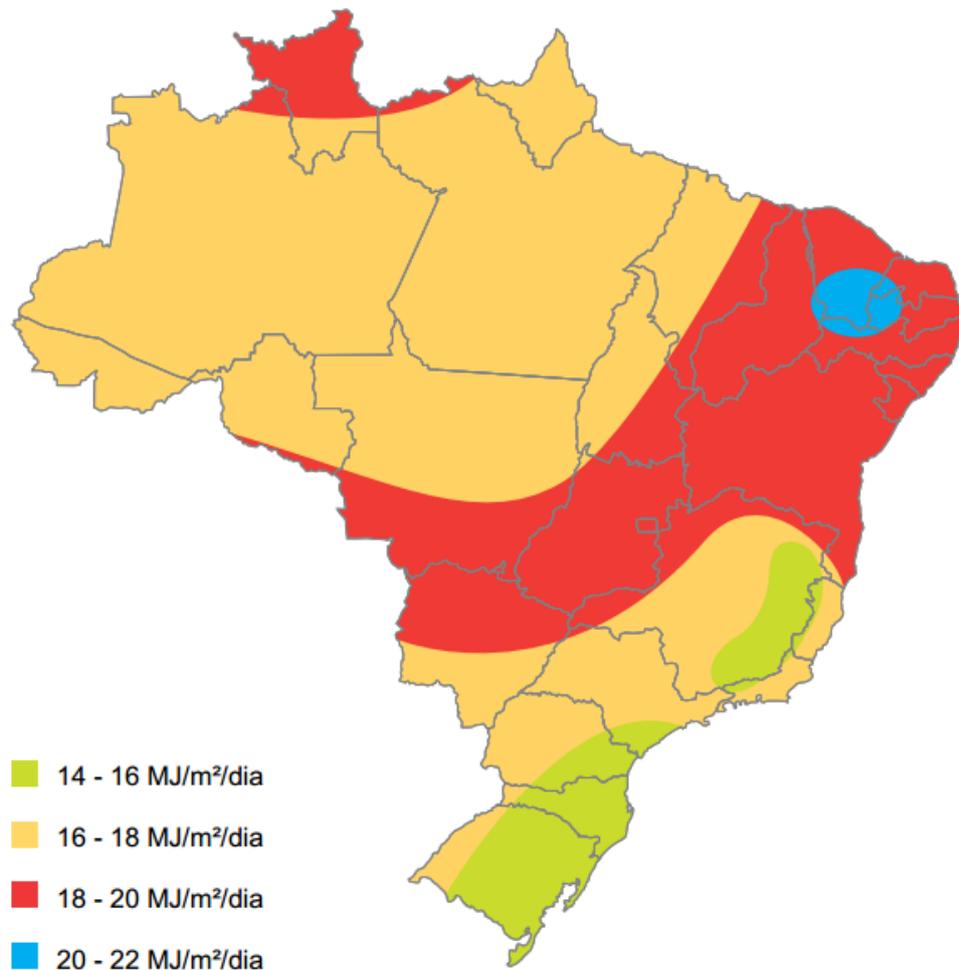


Figura 1. Variação da radiação solar no Brasil. Fonte: ANEEL (2013).

A energia solar térmica pode ser implantada com sucesso em qualquer latitude. Mesmo regiões que apresentam poucos índices de radiação podem possuir grande potencial de aproveitamento energético. Apesar da grande capacidade de aproveitamento de energia solar no Brasil, ainda existem poucos equipamentos que consigam transformar de forma eficiente essa energia em energia útil. A região nordeste do país é a que apresenta maior radiação solar (MME, 2014).

Grande parte do aproveitamento de energia solar no Brasil se dá na forma térmica, para produção de água quente. Pode ser obtida pela utilização de coletores ou concentradores. Os coletores são utilizados para aquecimento de água (temperaturas inferiores a 100°C) com aplicações residenciais, hospitais, restaurantes, hotéis, etc. Já os concentradores são aplicados onde há uma necessidade de temperaturas elevadas. Os concentradores captam a energia solar e a concentram em uma área menor (foco) por

meio de uma superfície refletora (espelho), e com as temperaturas elevadas o sistema pode ser utilizado para geração de vapor e produção de energia elétrica (MME, 2014).

Os coletores solares são os elementos que absorvem a energia da radiação solar, são instalados no exterior das localidades com a finalidade de aquecer um fluido refrigerante ou água. O coletor utilizado no projeto foi o do tipo Plano com Cobertura, que tem como funcionamento o princípio do corpo negro, ou seja, absorve praticamente toda a radiação que nele incide. As vantagens desse coletor em relação aos demais basicamente é sua simplicidade de construção, seu custo relativamente baixo e sua facilidade de operação e manutenção. (SEYE, 2012)

O coletor solar plano com cobertura é composto por quatro elementos dispostos numa caixa, geralmente de alumínio, são eles: a cobertura frontal (vidro temperado) é destinada a limitar as perdas térmicas e provocar o efeito de estufa no seu interior, também protege os demais componentes do coletor; a placa absorvedora capta a radiação solar e a transfere pra o fluido que circula em seu interior, é composta por uma placa e por uma serpentina ou similar de cobre por onde circula o fluido; o isolante térmico, que é posicionado nas partes inferior e laterais do painel, normalmente são de lã mineral, fibra de vidro ou poliuretano, sua função é limitar ao máximo as perdas térmicas por condução; por último temos a canalização que é composta por conexões destinadas à entrada de fluido frio e saída de fluido quente, essas ligações podem ser acopladas válvulas de corte para isolar o circuito hidráulico, purgadores de ar e sensores de temperatura, permitem ainda a ligação entre painéis de em série ou paralelo. Os coletores quando acoplados em série aumentam o salto térmico da instalação, já quando conectados em paralelo aumentam a vazão da instalação. (SEYE, 2012)

O sistema ainda é composto por um acumulador que pode ainda possuir uma serpentina auxiliar por onde é possível injetar energia de um sistema de apoio externo; e um circuito hidráulico que corresponde ao conjunto de acessórios das instalações solares que estão encarregados de interligar os painéis aos outros componentes do sistema, são eles a tubulação, bombas de circulação, sistema de enchimento, purga e esvaziamento dos painéis, purgador e válvulas. (SEYE, 2012)

Existem dois tipos principais de sistemas de energia solar térmica, os de circulação por termosifão e os de circulação forçada. Na circulação por termosifão o calor transferido para o interior do coletor solar aquece o fluido presente em seu inferior, tornando-o menos denso. Essa diferença de densidade faz com que o fluido suba para o depósito de água quente. É uma instalação mais barata e mais simples, com

menor custo de manutenção. Já na circulação forçada, a circulação do fluído no sistema é feita a partir da utilização de bombas. Possui um rendimento superior e faz com que não haja necessidade de posicionamento do depósito de água quente na parte superior do coletor solar. Porém sua instalação é mais complexa, e os custos de instalação e manutenção são maiores (COPREL, 2014).

Com o objetivo de reduzir os custos referentes à utilização de energia elétrica para o aquecimento de água, ou mesmo da queima de combustíveis fósseis para a produção de calor utilizado para aquecimento, cada vez mais a utilização de painéis solares está presente em instalações residenciais e comerciais. O uso deste tipo de tecnologia em hotéis pode trazer grandes vantagens, tanto economicamente quanto ambientalmente.

O trabalho a seguir apresenta uma situação de um dimensionamento de um sistema de energia solar térmica para o aquecimento de água para utilização em um hotel de médio porte, localizado na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul. A água quente produzida será utilizada nos chuveiros do hotel. Após o cálculo da quantidade de água quente necessária, a escolha do tipo do painel e do tipo de sistema que melhor se adapta a esta situação, será escolhido os equipamentos que irão compor o sistema dimensionado. Ao se determinar a viabilidade técnica foi realizado um estudo, para analisar a viabilidade econômica da substituição de um sistema convencional de energia (utilização de energia elétrica para produção de água aquecida) por um sistema de aquecimento de água para o banho dos hóspedes.

METODOLOGIA

Para realização desse projeto foi utilizado o método de cálculo de dimensionamento de sistemas de aquecimento solar de água, utilizando variáveis reais (BENITO, 2009). O cálculo levou em consideração as condições reais da localização da instalação e a fração solar adequada à aplicação. Foram colhidos os dados de uma instalação hoteleira, de médio porte, onde a água aquecida pelos coletores solares seria utilizada apenas para alimentação dos chuveiros (banho). Foram estimadas as temperaturas da água fria e a temperatura final de aquecimento. A radiação solar média foi determinada através do software RETScreen para a cidade de Dourados-MS.

Atualmente, o hotel estudado utiliza chuveiros elétricos para suprir a necessidade de água quente nos dormitórios. Porém, tendo em visto uma possível

economia da energia utilizada para aquecer a água, e por consequência, uma possível redução de custos, foi proposta a substituição dos aparelhos elétricos por um sistema de aquecimento de água que utiliza a energia solar térmica que atenda a necessidade do hotel. Propõe-se implantar um sistema de aquecimento de água quente por energia solar, constituído por um coletor solar, um reservatório de água quente e uma rede de distribuição. Foi escolhido o sistema passivo direto, que é o sistema onde a circulação de água é feita por termossifão e a água é aquecida diretamente nos coletores.

Para este trabalho foram analisadas duas opções de projeto. O Caso 1 considera que será instalado o mínimo de painéis solares, ou seja, será dimensionado para os dias de intenso calor, onde a radiação é maior e por consequência um número menor de painéis serão necessários para a obtenção de água quente no hotel. Para este dimensionamento, serão considerados dois períodos: verão, onde os painéis instalados suprem toda a necessidade de produção de água quente do hotel; e inverno, onde a radiação solar menos intensa será insuficiente para suprir a energia demandada considerando-se a área dos painéis dimensionada para o verão. Para este período, em caráter de complementação da energia térmica disponível, será utilizada uma parcela de energia elétrica em chuveiros elétricos para suprir a demanda do hotel. O período considerado para a cidade de Dourados será de 10 meses em um ano para o verão, e 2 meses para o inverno.

O Caso 2 levará em consideração apenas o período de inverno para determinar o número de painéis necessários no hotel, isso ocasionará um superdimensionamento para o verão e um custo inicial de investimento maior. No entanto uma análise da viabilidade econômica baseada em toda a vida útil do sistema é necessária para se comparar com o primeiro caso, pois nos meses de inverno não será necessária à utilização de energia elétrica da rede para aquecimento da água.

1. MODELO TEÓRICO

A situação atual, se baseia em um hotel que possui 54 quartos, com uma média de 3 hóspedes por quarto, assim em sua capacidade máxima o hotel teria aproximadamente 162 hóspedes. Nesse hotel a água para banho é aquecida através de chuveiros elétricos.

A energia demandada pela aplicação é obtida por:

$$Q = m \cdot c_{p_{H_2O}} \cdot \rho_{H_2O} (T_{dem} - T_{fria}) \quad Eq. 1 .$$

Onde:

Q -Energia demandada [kWh]

m– consumo total de água quente [l/dia]

ρ – massa específica da água [kg/l]

Cp – calor específico da água [kWh/kg.K/ (1,16 x 10⁻³ kWh)

Tdem – temperatura da água de serviço [°C]

Tfria – temperatura da água fria [°C]

A área de captação, que indica a área mínima necessária para a captação de energia suficiente para suprir a demanda, é calculada a partir de:

$$Sc = \frac{F_{s,min} \cdot Q}{\eta \cdot E_{med}} \quad Eq. 2.$$

Onde:

Sc – área de captação [m²]

Fs,min – fração solar mínima [%]

Q -Energia demandada [kWh]

η – eficiência do sistema [k%]

Emed – energia solar média [kWh/m²]

Para o cálculo do número de painéis é necessário escolher um modelo disponível no mercado. Assim, o número de painéis pode ser calculado por:

$$Np = \frac{Sc}{\text{Área do painel escolhido}} \quad Eq. 3.$$

A economia de energia elétrica é determinada calculando-se qual é a economia mensal e anual que é obtida utilizando-se os painéis solares para a produção de água quente do hotel, em substituição a utilização de energia elétrica. A energia elétrica economizada por mês pode ser obtida multiplicando-se o total de energia elétrica que seria utilizada para a produção de água quente, pelo preço desta energia elétrica, obtendo-se assim o total anual de economia de energia.

Para determinar se o projeto será viável para o investidor ao longo da vida útil do equipamento foi utilizado o método do Valor Presente Líquido (VPL). Para que o investimento seja viável é necessário obter um valor de VPL positivo indicando que ao final do período estudado os lucros irão superar o investimento inicial. Para a determinação do VPL temos:

$$VPL = -In + (E_{ee} - G_{eeC})x FRC \quad Eq. 4.$$

Onde:

In= Investimento realizado para a instalação do sistema solar térmico;

E_{ee}= Economia obtida por não utilizar energia elétrica;

G_{eeC} = Gasto com energia elétrica complementar (nos meses de inverno);

FRC= Fator de recuperação de capital.

O FRC pode ser obtido pela fórmula:

$$\frac{(1 + i)^n - 1}{i(1 + i)^n} \quad Eq. 5$$

Onde:

i= taxa de retorno;

n= Vida útil do sistema solar fotovoltaico (anos).

Para determinar, em quanto tempo este projeto irá “se pagar”, ou seja, os custos evitados forem maiores que o investimento foi utilizado o método *Payback*, que determina, sem consideração de taxas, em quanto tempo a instalação irá se pagar pela utilização da fonte alternativa de energia. Assim o *Payback* é determinado por:

$$P_B = \frac{E_{ee}}{In} \quad Eq. 6.$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O projeto de aquecimento solar de água tem o objetivo de gerar água quente para fins de higiene (banho) de um hotel de médio porte (54 quartos e média de 160 hóspedes) na cidade de Dourados-MS. Para esse caso foi utilizado como média de consumo diário de água quente como 36 l/s, obtido através da norma ABNT-NBR 7198:1993. Dessa forma o volume de água aquecida necessária seria de aproximadamente 6000 l/dia com temperatura de aproximadamente 40 °C. Para suprir a água a essa temperatura a mesma deve ser aquecida a aproximadamente 60°C nos painéis, para depois ser armazenada e sair do acumulador próxima a temperatura

solicitada. Utilizando a Eq.1 temos que para um consumo de 6.000 l/dia de água quente, considerando uma temperatura de água fria de 18°C, e uma temperatura de água de serviço de 60°C, a energia demandada é de 284,14 kWh/dia. Essa demanda será a mesma tanto para o Caso 1 quanto para o Caso 2. O preço do kWh para os cálculos de economia de energia para este trabalho foi considerado 0,35708 R\$/kWh (ENERSUL).

O coletor solar escolhido foi o do tipo Solis Vertical Trópicos com área externa de 2 m², eficiência energética de 59,5% e produção de 164,7 kWh/mês. Foi considerada uma taxa de retorno $i=20\%$ e uma vida útil do equipamento de 15 anos. O custo de cada painel é de R\$ 622,31 e do reservatório para a capacidade de 1000 litros é de R\$ 3.947,53. Para os valores de acessórios e instalação foi acrescentado um valor de 30% do valor dos equipamentos do projeto, esses valores foram obtidos através de uma pesquisa de mercado.

1. ANÁLISE ENERGÉTICA

1.1. CASO 1

O Caso 1 baseia-se na obtenção do melhor número de painéis solares que atendam o verão, e quando necessário, no inverno será utilizado energia elétrica da rede como complementação. Assim, utilizando a Eq. 2. e considerando a fração solar mínima como 100%, e a energia solar média para o verão de 6,08 kWh/m², é encontrada uma área de captação necessária para o abastecimento do hotel de 78,54 m². Portanto, o número de painéis necessários nesta instalação considerando a área do coletor escolhido (2m²) será de 40 painéis. No verão a energia demandada de 284,13 kWh/dia deixará de ser gasta pelo chuveiro elétrico e passará a ser produzida pelo sistema de aquecedores solar, que faz com que 8.524,05 kWh sejam economizados mensalmente e 85.240,5 kWh economizados anualmente.

Quando o inverno chega a energia solar média cai para 3,53 kWh/m². A fração solar mínima neste período é considerada de 59%, ou seja, apenas 59% da energia demandada será gerada pelo sistema térmico solar, portanto os painéis não produzem os 8.524,05 kWh/mês necessários para o suprimento da instalação e 3.494,86 kWh/mês tenham que ser supridos por energia elétrica nos chuveiros para atender a demanda. Ou seja, em dois meses considerados nesse caso, serão gastos 6.989,72 kWh de energia elétrica e supridos 10.058,38 kWh pelos painéis solares.

1.2.CASO 2

O Caso 2 baseia-se na obtenção do número de painéis que atenderão as necessidades energéticas no período do inverno, assim, teoricamente teremos um superdimensionamento para o período do verão. Assim, utilizando a Eq. 2. e considerando a fração solar mínima como 100%, e a energia solar média para o inverno de 3,53 kWh/m², é encontrada uma área de captação necessária para o abastecimento do hotel de 135,28 m². Assim, o número de painéis necessários nesta instalação considerando a área do coletor escolhido (2m²) será de 68 painéis..

Assim, a economia da energia sempre será a máxima para o Caso 2, ou seja, a energia diária demandada de 284,13 kWh será suprida durante todo o ano pelos painéis solares, que faz com que 8.524,05 kWh sejam economizados mensalmente, e que 102.288,61 kWh sejam economizados anualmente.

2. ANÁLISE ECONÔMICA

2.1. CASO 1

No verão a energia demandada de 284,13 kWh/dia deixará de ser gasta pelo chuveiro elétrico e passará a ser produzida pelo sistema de aquecedores solar, que faz com que 8.524,05 kWh sejam economizados mensalmente, que representa um total de R\$ 3.043,77 por mês economizados, um total anual de R\$ 30.437,68 por ano para o período de verão (10 meses). Quando o inverno chega o gasto com a energia complementar é de R\$ 1.247,94 por mês e de R\$ 2.495,89 por ano. A economia correspondente a este período R\$ 1.095,76 por ano.

Assim, anualmente teremos um gasto com energia elétrica complementar de R\$ 2.495,89 por ano e uma economia total de R\$ 32.932,68 por ano. O investimento total deste caso, com o número de 40 painéis é de R\$ 63.150,85. Utilizando a Eq.4. temos que o VPL para esta proposta de R\$ 151.541,12 ao longo da vida útil do equipamento, ou seja, este será o ganho que o investidor possuirá instalando este projeto em seu hotel. Utilizando a Eq.6. temos que o *Payback* desta instalação é de 1,86 anos ou 22,3 meses.

2.2. CASO 2

A energia diária demandada de 284,13 kWh/dia será suprida durante todo o ano pelos painéis solares, que faz com que 8524.05 kWh sejam economizados mensalmente, que representa um total de R\$ 1.690,98 economizados por mês, um total anual de R\$ 36.525,22 por ano. Calculando o custo do investimento para um total de 68 painéis temos um total de R\$ 85.880,94 Tendo em mãos estes dados e utilizando a Eq.4. temos que o VPL para esta proposta é de R\$ 162.887,38 Utilizando a Eq.6. verificou-se que o *Payback* desta instalação é de 2,35 anos ou 28,22 meses.

2.3. RESUMO DOS DADOS

Para fins de simplificação e visualização dos resultados obtidos do Caso 1 e no Caso 2 deste trabalho, foram sumarizados na Tab. 1:

Tabela 1. Resumo dos principais dados obtidos no decorrer do trabalho.

	Caso 1	Caso 2
Número de Painéis	40	68
Investimento (R\$)	63.150,85	85.880,94
Gasto com energia complementar (R\$/ano)	2.495,89	-----
Economia (R\$/ano)	32.932,68	36.525,22
VPL (R\$)	151.541,12	162.887,38
Payback (meses)	22,3	28,22

CONCLUSÕES

Pela análise energética do projeto, foi determinada a quantidade de painéis necessários para a geração de água quente suficiente para o uso nos chuveiros, o Caso 2 demonstrou que seriam necessários uma maior quantidade de painéis para atender 100% da demanda de água quente (40 no verão e 68 no inverno) devido às baixas radiações incidentes no período do inverno.

Com a análise econômica dos casos, foi possível determinar qual a alternativa mais econômica, se o superdimensionamento da instalação (Caso 2), ou a compra de energia elétrica extra para aquecer a água no período do inverno (Caso 1). O Caso 2,

onde a instalação conta com 68 painéis para atender o período do inverno, se mostrou mais atrativo que o (Caso 1) onde se compra a energia necessária para o período crítico. Mesmo que essa compra de energia elétrica aconteça apenas 2 meses do ano, as altas tarifas acarretam um gasto que quando comparado com a diferença entre os investimentos se torna mais caro. Ou seja, pelo cálculo do VPL, comprar os 68 painéis é mais atrativo financeiramente para o investidor que pagar durante toda a vida útil da instalação o déficit de energia elétrica que ocorre durante o inverno.

Já pelo modo *Payback* o Caso 1 resultou num total de 23 meses enquanto que no Caso 2 o proprietário pagaria seu investimento em 29 meses, isso ocorre porque a análise econômica por *Payback* não considera os gastos do projeto (uso de energia elétrica), somente as receitas e investimento, por isso é mais interessante utilizar a análise completa de VPL.

REFERÊNCIAS

1. MME. Energia Solar. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. [Online] 2014. [Citado em: 28 de 06 de 2014.] <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar>.
2. COPREL. DEPT. CLIMATIZAÇÃO E ENERGIAS RENOVÁVEIS. Energia Solar Térmica. [Online] 2014. http://coprel.pt/index.php?mod=articles&action=viewArticle&article_id=161&category_id=73.
3. Shapiro, Michael J. Moran e Howard N. Princípios de Termodinâmica para Engenharia. 6. São Paulo : LTC, 2007.
4. Boles, Y. A. e Çengel, M. A. Termodinamica. São Paulo : 5.ed.Mc Graw-hill
5. Souza, Diego Bonfim de, Soares, Janaina Schultz e Souza, Pâmella Fernanda de. Análise Energética, Exergética e Econômica da Substituição de Caldeira e Turbina: Um Estudo de Caso de uma Usina do Oeste Paulista. 2014. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Ufgd, Dourados, 2014. 2014.
6. ANEEL. Atlas de Energia Elétrica - 3ª Edição. Agência Nacional de Energia Elétrica. [Online] 2013. http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689 .
7. SEYE, Omar. Apostila de energia solar térmica. 2012.
8. BENITO, T.P., Práticas de energia solar térmica. Publindústria,2009.