Contribuição de um grupo de colectores solares térmicos no aquecimento de água doméstica

Alberto Navungo^{1,2*}, Luís Chea¹, Tomás Nhabetse³ e Boaventura Cuamba¹

¹Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, Av. Julius Nyerere , Maputo, Moçambique ²Departamento de Ciências Básicas do Instituto Superior de Transportes e Comunicações, Prol. Av. Kim Il Sung, Maputo, Moçambique ³Universidade Save, Chongoene, Gaza, Moçambique

*e-mail de contacto: alzapena@uem.mz

Resumo - A energia solar constitui uma das formas de energia que tem vindo assumir um papel importante na sociedade, partindo de princípio que actualmente o mundo se debate com as alterações climáticas. Ela subdivide-se em duas partes a energia solar térmica e a energia solar fotovoltaica. A energia solar térmica que é o foco deste trabalho é a aquela que converte a radiação solar em calor através de colectores solares térmicos planos. Este artigo tem como objectivo analisar a contribuição de um grupo de colectores solares térmicos planos no aquecimento de água no Centro de Reabilitação Psicossocial das Mahotas na Cidade De Maputo. O Datalogger CR23X foi instalado para medir os parâmetros de temperatura do ambiente, de entrada e de saída e um piranómetro fotovoltaico para medir a radiação solar incidente sobre os colectores. Durante a operação do sistema a bomba de água a vazão do fluído assumido foi de 0.153 l/s baseando-se nas características da própria da bomba de circulação e a posição do regulador das velocidades do caudal. A temperatura máxima atingida durante o período em estudo foi de 110º C. A energia média diária colectada foi de 13.5 kWh o que em termos anuais foi de 4909,3 kWh/ano. A energia produzida pelo sistema representa actualmente uma fracção solar de 100%. Para além do consumo independente da energia e a flutuação dos preços da energia eléctrica. O sistema representa a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa numa redução de 1.32 toneladas de CO2.

Palavras-chave — Sistema solar térmico, aquecimento de água, colector solar, alterações climáticas.

I. INTRODUÇÃO

A energia solar constitui uma das formas de energia que tem vindo assumir um papel importante na sociedade, partindo de princípio que actualmente o mundo se debate com as alterações climáticas. A energia solar mostra-se benéfica, quer do ponto de vista energético, quer do ponto de vista ambiental, constituindo em si um potencial e significativo contributo na redução das emissões de gases de efeito estufa, salutar para o cumprimento do estipulado no âmbito do protocolo de Quioto e pelo IPCC (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas) [10].A energia proveniente do recurso solar pode ser aproveitada sob duas formas: energia solar fotovoltaica que é aquela que transforma a radiação solar em corrente e a energia solar térmica que transforma a radiação solar em calor [4].

II. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Energia Solar Térmica

A energia solar térmica consiste em ao receber à radiação esta é absorvida quase toda pela parte escura (absorvedor) e, uma parte da radiação absorvida é transferida para um fluído que pode ser água ou ar [15]. E tem como principais aplicações, o aquecimento de águas domésticas em edifícios de utilização colectiva e residencial, bem como o aquecimento do ambiente e da água de piscinas, entre outras [13].

O uso desta energia para o aquecimento de água nas residências é feita através de colectores solares,que pode constituir uma alternativa viável para a sociedade, tendo em conta o grande potencial de energia solar.

Colectores solares são dispositivos que tem como função captar e converter a luz solar (radiação de onda curta) em calor e transferir a energia obtida com o mínimo de perdas para o resto do sistema, geralmente através de água, óleo ou outro fluido de trabalho consoante a temperatura de funcionamento do sistema [5]. Para este fim são usados vários modelos de colectores nomeadamente planos (com ou sem cobertura, tubos evacuados e concentradores parabólicos.

2.2. Colector solar plano



Figura 1. Elementos que compõem um colector solar térmico. [6]

Devido a sua simplicidade, o colector solar plano foi o primeiro entre os colectores a ser utilizado por volta de 1890 na Califórnia E.U.A. [15]. Segundo a mesma fonte, os colectores planos (Figura 1), são constituídos por uma placa absorvedora, uma caixa externa, um isolamento térmico na parte inferior e nos lados. Na parte superior existe uma cobertura transparente. Dois tubos ligados para alimentação e retorno do fluído de transferência térmica estão colocados no lado do colector. No interior do colector, estes tubos são ramificados de modo a aumentar a superfície de contacto entre o absorvedor e o fluído de trabalho.

Segundo [5] o colector solar térmico funciona na base de dois fenómenos naturais; absorção de calor pelas superfícies absorvedoras escuras e o movimento de fluidos, os colectores podem também trabalhar com ar em circuitos com variações de temperatura.

2.3. Transferência de calor num colector solar térmico

Transferência de calor é a energia térmica em trânsito que surge devido a diferença de temperatura entre dois meios distintos. A transferência de calor ocorre do meio com maior temperatura para o meio com menor temperatura.

Em muitas situações concretas os mecanismos de transferência de calor nomeadamente condução, convecção e radiação ocorrem simultaneamente, embora um deles possa ser predominante que os outros [14]. No colector solar os mecanismos de transferência de calor podem ser vistos na Figura 2.



Figura 2. Mecanismos de transferência de calor no colector térmico [1].

2.4. Transferência de calor por condução

O processo de transferência de calor por condução ocorre quando a energia térmica é transferida através das interacções entre os átomos ou moléculas, mesmo não havendo a transferência desses átomos ou moléculas. Sendo ΔT a diferença de temperatura em um pequeno segmento Δx . Se ΔQ for a quantidade de calor conduzida através do segmento durante um determinado intervalo de tempo Δt , assim a taxa de condução de calor \underline{q} , que foi verificado experimentalmente é proporcional ao gradiente de temperatura e à área A da secção transversal, equação (1).

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = k.A.\frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{1}$$

onde: *q* é fluxo de calor (W/m²), *k* é a condutividade térmica do material [w/(m.K)] e $\Delta T/\Delta x$ é gradiente de temperatura (°C/m; K/m).

2.5. Transferência de calor por convecção

A transferência de calor por convecção é o transporte de energia de uma região para outra por meio da movimentação do próprio meio material [11]. A transferência de calor por convecção compreende dois mecanismos, o movimento molecular aleatório (difusão) e devido ao movimento global, ou macroscópico (advecção). No caso mais simples, a convecção surge quando um fluido (gás ou liquido) é aquecido na parte de baixo. Neste caso, o fluído aquecido se expande e sobe, e o fluído mais frio desce. A taxa de transferência de calor por convenção q_c entre a superfície e o fluído pode ser calculadapela seguinte equação (2).

$$q_c = h_c. A. \Delta T \tag{2}$$

onde: q_c é o fluxo de calor por convenção (w/m²), A é a área da transferência do calor (m²), ΔT é a diferença de temperatura entre a superfície e o fluído (°C); h_c é o coeficiente de transmissão de calor por convecção (W/m²K), que ele depende de propriedades do fluído, velocidade do fluído, natureza do escoamento e geometria da superfície.

2.6. Transferência de calor por radiação

A Radiação consiste na transferência de calor por meio de ondas electromagnéticas. Toda e qualquer matéria emite energia sob a forma de ondas electromagnéticas. Esta energia é resultante da mudança nas configurações dos electrões que constituem os átomos ou moléculas.

Todos os corpos emitem e absorvem radiação electromagnética. Quando um corpo está em equilíbrio térmico com as suas vizinhanças, ele emite e absorve calor à mesma taxa. Segundo [11] consideram que a taxa com que um corpo irradia energia é proporcional à área do corpo e à quarta potência da sua temperatura absoluta (equação 3).

$$P_t = \epsilon. \, \sigma. \, A. \, T^4 \tag{3}$$

onde: P_r é a potência irradiada (W/m²), A a área (m²), σ a constante universal de Stefan-Boltzmann, cujo valor é 5, 6703 x 10⁻⁸ W/ (m².K⁴), ε a emissividade ($0 \le \varepsilon \le 1$, dependendo da composição superficial do corpo) e T a temperatura do colector (°C).

2.7. Fluído de transferência térmica

O fluido de transferência térmica transporta o calor que é produzido no colector para o reservatório. Normalmente o fluído mais usado é água, pois apresenta calor específico e condutividade térmica elevadas e uma baixa viscosidade. Para além disso, a água não entra em combustão nem é tóxica para a gama de temperaturas de -15°C e + 350°C na qual os colectores térmicos operam.

Tabela 1. O calor específico em função da temperatura e da percentagem de anti-congelante na mistura.

	•	6			
Vol.(%)	0	10	20	30	50
T(°C)					
20	4180	4105	4030	3913	3566
40	-	4108	4039	3934	3633
60	-	4126	4072	3976	3704

De acordo com GeenPro [14] citado por Andrade [1] afirma que o fluído térmico é composto praticamente por água e apresenta problemas de evaporação e congelamento. Para evitar estes efeitos é necessário fazer uma mistura de água/glicol com inibidores líquidos (minimização de corrosão). A mistura de água com anti-congelante provoca a diminuição do calor específico do fluído, tal como se observa na Tabela 1.

A geração de energia através de fontes não renováveis constitui o principal responsável pelo aquecimento global, e outros impactos ambientais.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas em 2001 publicou um relatório onde numa das conclusões fazia menção sobre o aumento da temperatura média da superfície de 0.4 a 0.8°C a partir de 1860, que o nível dos oceanos subiu de 10 a 20 centímetros no século XX, que a precipitação de chuvas em muitos países continua aumentando, a neve e o gelo sobre os continentes continua diminuindo, e que está havendo mudanças nos padrões de circulação da atmosfera bem como aumento do número de eventos climáticos extremos [7],[10].

Ainda a mesma fonte afirma que a quantificação dos impactos ambientais gerados pelos gases do efeito estufa está relacionado ao tempo de vida desses gases na atmosfera e suas interações com outros gases e com vapor de água. Tal medição é efectuada através do indicador Potencial de Aquecimento Global em inglês Global Potential Warming (GPW) [9].

O ano de 2015 foi um marco para a acção climática, com a negociação na 21^a Conferência das Partes (COP21) em Dezembro o Acordo de Paris sobre mudanças climáticas [10]. O Acordo de Paris é o primeiro acordo internacional sobre o clima que estende as obrigações de mitigação a todos os países, desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento [10].

III. METODOLOGIA/MÉTODOS

3.1. Área de estudo e localização

O sistema solar em estudo foi instalado no terraço de um dos edifícios do Centro de Reabilitação Psicossocial das Mahotas nos arredores da Cidade de Maputo (Figura 3), a uma altura de 10 metros, com orientação ao norte geográfico devido a localização de Moçambique na região sul do equador, (latitude 10°27'S e 26°57'S e longitude 30°12'E e 40°51'). A inclinação do sistema é de 33°40' valor aproximado a latitude do local mais 7.8°, o que permite maximizar a energia anual colectável. Vale salientar que a escolha do local teve em conta o facto da instituição, possuir um sistema solar térmico completo para fazer teste laboratoriais, permitindo a recolha dos parâmetros necessários.



Figura 3. Sistemas de colectores solares térmicos instalados no telhado do edifício do CRPS.[12]

O sistema era composto por 9 colectores ligados de forma mista com 2,34 m² cada, da marca RK 2300 Mediterrâneo 1000 e um reservatório de 995 l e funciona por circulação forçada. A inclinação obedeceu a regra de instalação dos colectores que é latitude local mais 10^{0} . Foi monitorado durante o período em estudo para a obtenção dos dados das variáveis ambientais (temperatura de entrada e saída da água, temperatura ambiente e a irradiância no plano do colector).

Durante o período em estudo, uma vazão de água passa pelo circuito interno do colector. Esta vazão mássica é proporcional à área externa do colector e é fornecida por um sistema de bombeamento hidráulico.

3.2. Instrumentos de Colecta de Dados

a) Medição de irradiância

Para estudar, analisar ou fazer dimensionamento de qualquer sistema que usa a energia solar, é necessário fazer a medição da quantidade de radiação solar incidente no local onde se deseja instalar. Para este trabalho foi usado um piranómetro fotovoltaico (célula de tecnologia equivalente calibrada contra um piranómetro; Figura 4).



Figura 4. Piranómetro fotovoltaico.(Nhachengo, [12]

O piranómetro fotovoltaico foi montado em condições iguais com os colectores solares térmicos em termos de inclinação, de modo que a irradiância medida pelo dispositivo seja a mesma que incide sobre os colectores solares térmicos. A célula solar de silício geralmente monocristalino é muito sensível, que ao ser iluminada gera uma corrente eléctrica que surge devido ao fluxo de electrões, com energia suficiente para serem absorvidos pelo material.

Esta corrente sendo de curto-circuito é proporcional a irradiância incidente. Esta irradiância é calibrada com o valor de 30.0 mV/ (1000W/m²). É protegida por uma moldura de alumínio com caixa de ligações no lado posterior, onde está afixada uma resistência de precisão aproximadamente de 0.50% e de valor igual a 0.01 Ω (formada por duas resistências de 0.02 Ω em paralelo, para evitar o aquecimento excessivo da corrente que a célula fornece próximo de 5A a 1000W/m²). Assim a voltagem lida na saída da célula é convertida em irradiância de acordo com a constante de calibração.

b) Medição de temperaturas

A obtenção dos dados das variáveis ambientais (temperatura de entrada, temperatura de saída da água e temperatura ambiente) foram montados sensores de temperatura na entrada e saída da água termopares do tipo E e o sensor de temperatura do ambiente termopar do tipo K.

Para medição da temperatura do ambiente foi montado um sensor de tipo K, outro do tipo E colocado em contacto com a tubagem de saída do fluído dos colectores e termicamente isolado das influências ambientais, para medir a temperatura de saída do fluído nos colectores solares e o último também do tipo E, foi colocado em contacto com o tubo de entrada do fluído nos colectores e também isolado termicamente das influências ambientais para medir a temperatura de entrada do fluído. Estes termopares e outros sensores, Figura 5, foram acoplados ao *datalogger CR23X da Campbell Scientific*, que serve para fazer registo e armazenar os dados e conectado a um computador para fazer a transferência e tratamento dos dados colhidos.



Figura 5. Sensores de temperatura montados no sistema solar (adaptado de [12])

c) Datalogger CR23x

O *CR23X* Figura 6 é um sistema de medição e de controlo robusto que proporciona medições precisas e confiáveis em uma gama de aplicações. Projectado para pesquisa científica, o *CR23X* combina a capacidade de medir praticamente qualquer sensor de controlo e de responder a condições específicas locais [3]. Mede directamente, comunica via modens, controla dispositivos externos e armazena dados e programas tanto em memória *Flash* não volátil quanto em *StatisticRandon Access Memory (SRAM)* com suporte de bateria, era alimentado por uma bateria de 12 V.



Figura 6. Datalogger CR23X [3].

Com o *CR23X* da *Cambpell Scientific* foi possível medir a temperatura do ambiente, a temperatura de entrada, a temperatura de saída do fluído e a radiação incidente no plano do colector. Os dados medidos foram monitorados a cada minuto, em seguida descarregados para o computador através do portal *serial RS_232*, sendo posteriormente tratados e organizados no *softwareExcel*, facilitando assim a sua análise.

A partir da utilização do *software Excel*, os dados colectados foram tratados de forma a se obter tabelas e gráficos importantes para as análises desejadas. Sendo assim, foi possível extrair alguns parâmetros fundamentais para o estudo como as temperaturas de entrada, de saída e do ambiente, a energia útil, a eficiência e a radiação.

O calor útil transferido no fluído térmico (potência térmica) dos colectores pode ser calculado através da medida da vazão de água nos colectores e da temperatura de entrada e saída do fluído uma vez que, da Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se:

$$Q_{\text{útil}} = \dot{m}. C_p. \left(T_{ent} - T_{sai}\right) \tag{4}$$

onde: Q_u é o calor útil (W), *m* é a vazão mássica da água através do colector Solar (kg/s); C_p é o calor específico à pressão constante do fluído térmico (J/kg °C), T_{ent} e T_{sai} são a temperatura do fluído à entrada e à saída do colector (°C), respectivamente.

Tendo em conta temperatura média reduzida da equação (5):

$$T^* = \frac{T_m - T_a}{G} \tag{5}$$

onde T^* é a temperatura média reduzida, T_m a temperatura média do fluído, T_a a temperatura ambiente e *G* a radiação solar (W/m²).

A temperatura média T_m do fluído no colector toma a seguinte forma:

$$T_m = (T_{ent} + T_{sai})/2 \tag{6}$$

Em Regime Permanente o calor útil pode ser dado pela equação:

$$Q_{util} = Q_{absorvido} - Q_{perda} \tag{7}$$

Onde: Q_{util} é a taxa de calor transferido para o fluído; $Q_{absorvido}$ é a parcela da radiação incidente que é absorvida pela placa absorvedor; Q_{perdas} é a taxa de calor perdido pela base, laterais e topo do colector.

d) Calor absorvido

$$Q_{absorvido} = T_c. \,\alpha_p. \,G. \,Ac \tag{8}$$

onde: A_c é a área da placa colectora (m²), G é a radiação solar global incidente no plano do colector (W/m²), T_c é a transmissividade da cobertura transparente e α_p a absortividade da placa colectora.

e) Calor perdido

O calor é perdido pela base, laterais e, principalmente, pelo topo do colector. Assim:

$$Q_{perdas} = Q_{topo} + Q_{base} + Q_{laterais} \tag{9}$$

onde: Q_{topo} - convecção e radiação; Q_{base} e $Q_{laterais}$ - predominantemente por condução através do isolamento.

f) Eficiência

A equação que caracteriza o rendimento térmico do colector solar plano é, de forma mais generalizada, dada do seguinte modo:

$$\eta = \frac{Q_{util}}{Q_{incidente}} = \frac{Q_{util}}{G.Ac}$$
(10)

onde: η é a eficiência do colector (%), Q_{util} é a taxa de calor transferido para o fluído (W), $Q_{incidente}$ é ataxa de calor radiante incidente na superfície do colector (W), G é a radiação global incidente no plano do colector (W/m²) e A_c é a área do colector (m²).

Para determinar a quantidade de dioxido de carbono é usado um factor de CO_2 (em kg/kWh) que indica a quantidade de CO_2 que se emite durante a produção de um quilowatt-hora de electricidade. Em função da tecnologia empregue e do nível de eficiência, o factor de CO_2 pode apresentar valores distintos. A quantidade de gás carbónico evitado C (em kg) determina-se pela expressão:

$$C = E * f \tag{11}$$

onde E é a energia produzida pelo sistema térmico (em kWh) e f é o factor de prevenção de CO₂ (em kg/kWh).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Desempenho Diário dos Colectores

Três dias característicos das condições meteorológicas relevantes em Maputo-Cidade foram considerados para

analisar o desempenho diário do sistema solar de aquecimento de água. Consistiram em dia de céu limpo 26/06/2016, dia de céu parcialmente nublado 29/06/2016 e dia céu nublado 03/07/2016. A Figura 6 mostra a radiação solar observada durante os três dias, sendo que a radiação máxima foi de 948 W/m² no dia de céu limpo, de 892 W/m² no dia de céu parcialmente nublado e de 535,2 W/m² no dia de céu nublado.



Figura 6. Radiação solar global na superfície dos colectores por três dias representativos

A Figura 7 mostra a variação diária de temperatura na saída do colector do fluído (T_{ent}) , temperatura do ambiente (T_{amb}) e a temperatura de entrada do fluído (T_{sai}) . Nota-se que durante o dia de céu limpo observou-se que a temperatura de entrada de água fria foi de 56,26 °C e devido a maior quantidade de calor emitido a temperatura de saída atingiu 73,05°C, sendo que a temperatura do ambiente foi de 27,96°C. No dia de céu parcialmente limpo as temperaturas de ambiente, de entrada e de saída foram de 27,81°C, 49,69°C e 56,96°C respectivamente e no dia do céu nublado foram registadas 23,72°C, 35,82°C 44.9°C e respectivamente.



Figura 7. Variação das temperaturas de saída, ambiente e entrada por três dias representativos.

4.2. Dia do céu limpo

O comportamento da radiação solar verificada no dia com o céu limpo, Figura 8, no período entre 10h40 e 11h20 registou-se pequenas flutuações de radiação, a partir das 11h21 até 12h19 altura que se observou a radiação mais elevada na ordem de 948 W/m², entre as 12h36 e 12h40 voltou a se registar mais uma pequena flutuação. A radiação solar depois das 12h40 foi diminuindo tendo atingido 0 W/m² por volta das 17h00 horas.



Figura 8. Radiação solar observada no dia de céu limpo

A Figura 9 mostra a variação diária das temperaturas registadas na saída do colector (T_{sai}) , na entrada no colector (T_{ent}) e a temperatura de ambiente (T_{amb}) num dia de céu limpo. No período das 07h41 as 08h10 a temperatura de saída era maior que a de entrada do fluído. Sendo que a temperatura do ambiente aumentou até os 27,96°C (verificado às 12h05), a temperatura de saída atingiu os 73,07°C (às 13h37) e a de entrada atingiu o máximo de 56,26°C (às 12h01). Observou-se que há fluxo de energia contínuo em dias de céu limpo. Nas primeiras horas da manhã e ao entardecer, a temperatura de saída do fluído é sempre superior em relação à temperatura de entrada do fluído, o que mostra que em cada ciclo ocorre um ganho de energia no colector o que traduz-se no aquecimento do fluído. O fluido que esteve parado no colector na ausência de radiação solar e com bomba desactivada, o que sai do colector a uma temperatura inferior em relação à do fluído de entrada que sai do reservatório.

O comportamento do rendimento dos colectores foi obtido com base nos dados das primeiras horas do funcionamento 07h05 onde se verificou a eficiência máxima do dia. O ponto de estagnação ($T^* = 0,1129$) foi atingido às 16h39. A eficiência média diária obtida foi de 65% e a máxima eficiência foi de 78%. Vale ressaltar que a potência solar varia entre as 7h00 e 17h00, em que ocorre várias diferenças de temperaturas e outros parâmetros, permitindo determinar o desempenho térmico do sistema de colectores.



Figura 9.Variação das temperaturas do ambiente, de entrada e de saída no dia.

4.3. Dia do céu parcialmente limpo

O comportamento da radiação solar observada no dia com o céu parcialmente limpo é ilustrado na Figura 10. No intervalo compreendido entre as 10h39 até quase 10h56 verificou-se uma diminuição da radiação devido à passagem de uma nuvem. A radiação incidente depois da passagem da nuvem as 12h04 aumentou a radiação até 892 W/m², a partir das 12h50 a radiação incidente foi diminuindo com uma oscilação entre 14h35 e 14h50 tendo atingido 0 W/m² por volta das 17h30.



Figura 10. Radiação solar do dia parcialmente nublado 29/06/16.

A Figura 11 mostra que as temperaturas de entrada e de saída do fluído permaneciam iguais no período das 0h00 as 7h50, devido ao facto de os colectores terem estado em regime estacionário pela insuficiência da radiação solar incidente. A partir das 7h59 as temperaturas foram aumentando tendo atingido o máximo de 30,65°C, 59,93°C e 73,2°C, respectivamente (temperatura ambiente, de entrada e saída), a partir das 14h49 as temperaturas foram diminuindo até o final do dia.



Figura 11. Variação temporal das temperaturas de saída, ambiente e de entrada no dia parcialmente nublado.

O desempenho térmico dos colectores neste dia foi bom, conseguido com base nos dados das primeiras horas do funcionamento 06h10 e o ponto de estagnação foi registado às 17h36 a eficiência média do dia foi 58% e eficiência máxima 71%.

4.4. Dia com o céu muito nublado

Durante o período da recolha de dados, o dia 03 de Julho esteve com céu muito nublado comparativamente à outros dias relativamente ao período em estudo. Sendo que em dias com nebulosidade a radiação era flutuante e menor. As quedas do valor de radiação verificado nesta dia foram influenciadas pela radiação difusa, isto é a presença de nuvens que interferem na quantidade de radiação solar incidente. A radiação máxima observada foi de 535,2W/m², às 09h18 como ilustra a Figura 12. Por se tratar do dia de menor incidência da radiação solar, esse resultado já era esperado.



Figura 12. Radiação solar do dia nublado.

No intervalo compreendido entre às 08h00 e 18h00 temperatura de entrada 35,76 °C era maior que a temperatura de saída 34,52 °C, isto deveu-se a menor radiação verificada nesse intervalo (Figura 13). Às 09h14 a temperatura de saída atingiu 43,16 °C e a de entrada 40,37 °C, porém as máximas atingidas neste dia foram de 49,57 °C temperatura de entrada, 39,83 °C temperatura de saída e 23,42 °C a de ambiente. No intervalo entre 09h55 e 10h57, registou-se o arranque da bomba resultante de flutuação da irradiação incidente.



Figura 13. Variação temporal das temperaturas medidas no dia do céu nublado.

Os colectores solares neste dia começaram a operar as 6h13 e tiveram o seu ponto de estagnação as 17h20. A eficiência média diária obtida foi de 54 %. Em dias iguais a este, o sistema solar térmico necessita de um sistema de apoio para auxiliar no aquecimento da água devido a pouca quantidade de radiação incidente nos colectores solares. Porém, o facto de a demanda representar praticamente a metade da produção evita a utilização do sistema auxiliar. Claro que se os dias completamente nublados forem sucessivos, a ligação do sistema de apoio seria inevitável.

4.5. Energia diária colectada

A energia média diária colectada foi de 9,83 kWh em 26/06/2016, 9,24 kWh em 29/06/16 e 5,70 kWh em 03/07/2016. Pode-se observar que o sistema opera mesmo durante dias de baixos níveis de radiação solar, caso do dia do céu nublado, como pode observar na Figura 9. Durante período de dias muito nublados ou cobertos de nuvens intermitentes, o controlador solar alterna de forma intermitentemente a bomba de circulação ligando e desligando, uma vez que opera com base na diferença de temperatura entre o temperatura de saída do coletor e parte inferior do tanque de água quente.



Figura 9. Representa energia média diária colectada nos três dias característicos.

A energia útil transferida ao fluído de trabalho Q e a eficiência térmica do sistema de colectores η foram determinados tomando em consideração uma vazão mássica \dot{m} de 0,153 l/s, o tempo de funcionamento diário do sistema que é estimado em 7 horas, a área total do colectores que é de 1880,42 m², bem como o calor específico e a densidade do fluído de trabalho.

Assumindo uma produção média diária de 13,303 kwh, foi calculada a produção mensal, que por sua vez permitiu calcular a produção anual de 4909,3 kWh.



Figura 10. Energia colectada pelo sistema ao longo do ano.

Observando a Figura 10, os meses de Fevereiro, Abril, Junho, Setembro e Novembro apresentam menor produção entre 365 e 390 kWh. E para os meses de Janeiro, Março, Maio Julho, Agosto Outubro e Dezembro mostraram maior produção com 404 kWh. Um dos factores que pode ter influenciado na menor produção é a diminuição da temperatura e a intermitência da energia solar, contudo deve se referenciar que nem sempre a temperatura influencia directamente na produção total de energia, pois ocorrem variações de queda e aumento de produção independentemente de a temperatura ter aumentado ou reduzido.

V. CONCLUSÕES

5.1. Contribuição energética do sistema

Os resultados mostram que o sistema solar térmico têm um contributo na redução de emissões de CO_2 que podem ser expressos indirectamente pela quantidade de combustível fóssil que se evita na produção de água quente, isto é o uso de colectores solares contribui para a diminuição da degradação do meio ambiente, para além de uma significativa redução da factura de energia eléctrica. Considerou-se que uma tonelada equivalente de petróleo produz 11630 kWh com emissões directas de CO_2 de 3,1 toneladas. O sistema instalado fornece anualmente uma energia de 4909,3 kWh, contribuindo para a diminuição de 1.34 toneladas de CO_2 o que por si só significa um avanço para a diminuição da degradação do meio ambiente.

REFERÊNCIAS

[1]. Andrade, E. (2012). *Metodologia de implementação e avaliação de sistemas solar térmico*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Mestrado de Energias Renováveis, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia , Lisboa.

[2]. Borges, A. (2009). Energia Solar. Vila Real, Portugal. Obtido em 01 de 07 de 2018

[3]. Campbell Scientific. (12 de Setembro de 2002). *Campbell Scientific*. Obtido em 15 de Junho de 2018, de b_cr23x.pdf_datalogger campbell cientific:

[4]. Cerveira, M. (2012). *Sistemas Térmicos de Energia Solar (dissertação de mestrado)*. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Departamento de Engenharia Electrónica, Coimbra. Obtido em 25 de Maio de 2018;

[5]. Duffie& Beckman. (2013). Solar Engineering of Thermal processes (Fourth ed.). Madison: Solar Energy Laboratory.

[6]. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes* (3 edição ed.). Hoboken: Wiley.

[7]. GeenPro. (2004). *Energia Fotovoltaica:Manual sobre tecnologias*. Manual, projecto e instalação.

[8]. Goldemberg, J., &Vilanueva, L. (2003). Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento. São Paulo: Edusp.

[9]. IEA. (2017). Energy Acess Outlook. InternationalEnergyAgency .Obtido em Dezembro de 2018, de www.iea.org

[10]. IPCC. (2007). International Panel for Climate Change.AssessmentReport4.Accessed2010-10fromhttp://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport.ar4/sry/ar4_sry.pdf.Report 4. Obtido em 2010;

[11]. Kreider, J., Jan, F., & Kreider, J. (2007). *Solar Heating and Cooling*. Colorado, E.U.A: Hemisphere.

[12]. Nhachengo, R. (2016). Análise térmica do colector solar plano intalado no Centro de Reabilitação Psicossocial das Mahotas. Monografia, Maputo.

[13]. Y. G. Yin, "Design and Application of Solar Water Heater Intelligent Control System," Proceeding ICEET International Conference on Energy and Enviro ogy, Guilin, Vol. 1, 2009, pp. 580-583, doi: 10.1109/ICEET.2009.147.

[14]. Roriz, at al (2010). Energia Solar Em Edificios. (Orion, Ed.) Amadora: Rolo & filhos II, S.A.

[15]. Silva, L. P. (2015). Desenvolvimento de Um Colector Solar
Cilindrico Parabólico para Baixs e Medias Temperaturas.
Dissertação, Universidade Federal de Campina Grande, Campina
Grande. Obtido em 26 de Junho de 2016

[16], Khan, S.I e Islam, A. (2011), "Performance Analysis of Solar Water Heater" Smart Grid and Renewable Energy, 2, 396-398, Smart Grid and Renewable Energy, 2011, 2, 396-398 doi:10.4236/sgre.2011.24045 Published Online November 2011 (http://www.SciRP.org/journal/sgre)