



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 1004669-0 B1**



**(22) Data do Depósito: 24/11/2010**

**(45) Data de Concessão: 30/03/2021**

---

**(54) Título:** SISTEMA HÍBRIDO DE AQUECIMENTO DE ÁGUA E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM MELHOR APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

**(51) Int.Cl.:** H01L 31/052.

**(73) Titular(es):** UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP.

**(72) Inventor(es):** NEWTON CESÁRIO FRATESCHI; ARTHUR VIEIRA DE OLIVEIRA.

**(57) Resumo:** SISTEMA HÍBRIDO DE AQUECIMENTO DE ÁGUA E GERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM MELHOR APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR A presente invenção apresenta um sistema híbrido de geração fotovoltaica e aquecimento de água. Este sistema apresenta um módulo de células solares com um trocador de calor em sua traseira, um coletor solar térmico ligado ao módulo de modo a ter um grau de liberdade angular e um boiler para armazenar a água quente. Água fria vinda de um caixa d'água resfria o módulo ao passar pelo trocador de calor. O grau de liberdade entre o módulo e o coletor é interessante, pois assim pode-se ajustar o sistema de acordo com a posição do Sol para maximizar a extração da energia (este posicionamento pode ser feito com um posicionador eletrônico movido por um servo-motor). Isto ocorre devido à utilização da reflexão de infravermelho promovida pelas células, que pode auxiliar no aquecimento da água. Portanto, este invento melhora os dispositivos em dois sentidos: resfriando as células (aumentando suas eficiências) e melhorando o sistema de aquecimento.

**"Sistema híbrido de aquecimento de água e geração fotovoltaica com melhor aproveitamento da energia solar"**

**CAMPO DA INVENÇÃO**

5        Esta invenção se baseia em um sistema que extrai a energia solar de duas formas: usa a energia da radiação infravermelha de ondas mais longas para o aquecimento de água e a energia da radiação visível e no infravermelho mais próximo para geração de energia elétrica por conversão  
10    fotovoltaica. Ela minimiza bastante as falhas que são encontradas nos produtos já inventados, pois ela utiliza dois recursos ainda não explorados de forma conjunta. O primeiro é a separação da água que resfria as células e aumenta sua eficiência, da água que passa pelo aquecimento.  
15    O segundo é a utilização da radiação infravermelha refletida e não aproveitada pelas células solares para auxiliar o aquecimento da água. Além disto, esta invenção pode contar com um posicionador que faz a procura da melhor disposição do sistema para melhor extração da energia  
20    solar.

      O desenvolvimento de novos dispositivos e sistemas para utilização de energia alternativa é um dos ramos mais pesquisados atualmente. Se tratando de energia solar a pesquisa é ainda mais acentuada, principalmente em sistemas  
25    híbridos para melhor aproveitamento desta energia. Estes sistemas podem ser largamente utilizados em residências de médio e grande porte. Porém, muitas falhas são encontradas nas invenções e nos produtos já comercializados.

A energia solar sempre foi e ainda é bastante cobiçada por engenheiros, físicos e pesquisadores de todo o mundo. A potência existente nesta fonte de energia é capaz de alimentar diversas atividades, entre elas a produção de energia elétrica e aquecimento de água, alvos da presente invenção.

Convencionalmente, a conversão solar em eletricidade e a coleta de calor são feitos em dois aparatos separados. Coletores térmicos solares são responsáveis por armazenar a energia do Sol através do aquecimento de ar ou fluidos, enquanto as células fotovoltaicas são usadas para conversão de radiação solar em energia elétrica. Porém, a eficiência das células fotovoltaicas é inversamente proporcional à temperatura de funcionamento, ou seja, quando as células fotovoltaicas se aquecem, elas têm sua eficiência comprometida.

A melhor forma de dissipar esse calor, fazendo a manutenção da eficiência das células fotovoltaicas, é criar um fluxo de fluido nessas células. Por sua vez, ao criar este fluxo, torna-se possível a utilização do fluido quente para diversos fins.

Sabe-se que a água é um elemento bastante eficiente para portar calor e resfriar as células fotovoltaicas, prevenindo que exista qualquer comprometimento em seu funcionamento. Dessa forma, diversas pesquisas têm se direcionado para o desenvolvimento de sistemas híbridos de geração fotovoltaica e aquecimento de água. Assim, muitos dos produtos e sistemas já criados utilizam um coletor térmico posicionado atrás de um módulo fotovoltaico, e esse aproveita-se do calor liberado pelo módulo para aquecer fluidos e conseqüentemente resfriar as células.

Podemos verificar que uma grande quantidade de documentos apresenta estrutura de montagem semelhante, como, por exemplo, o documento **FR 2926676**, que descreve um equipamento híbrido formado por um coletor térmico, montado no interior de um suporte sobre o qual ele se apóia e dentro do qual pode circular um fluido com o qual troca calor. O suporte possui uma face anterior destinada à exposição à luz, compreendendo ao menos uma célula fotovoltaica disposta sobre uma face posterior do captador térmico. A troca de calor entre o coletor térmico e o fluido é responsável pela manutenção do funcionamento das células fotovoltaicas, como já dito acima.

Por sua vez, no documento **ES2303456** também é descrito um painel solar híbrido, fotovoltaico e térmico, capaz de gerar energia fotovoltaica e aquecimento de água. Ele é formado por uma chapa de material de elevada condutividade térmica, células fotovoltaicas são montadas diretamente sobre o coletor, por onde corre um fluido responsável por captar o calor, diminuindo a temperatura das células fotovoltaicas, e elevando a temperatura da água, assim como no equipamento descrito anteriormente.

O pedido de patente **WO2007129985** também descreve um aparato que integra, em um único painel, a geração de energia elétrica por radiação solar através de painéis fotovoltaicos, e a geração de calor pelos coletores térmicos. Logo abaixo desse painel são dispostos canos por onde corre um fluido refrigerante do sistema.

Finalmente, o documento **US2009/0114212** descreve um aparato que, assim como nos equipamentos descritos acima, também visa aumentar a eficiência de células solares. É diferencialmente formado por uma primeira área que contém lentes de Fresnel refratárias, as quais fazem com que a luz solar seja focada na zona fotovoltaica localizada

inferiormente a ela. Energia solar é armazenada entre essas duas camadas e pode ser captada por insuladores localizados na camada inferior. O calor então pode ser conduzido através de canos preenchidos por ar ou fluidos.

5        Nessa camada ainda, existe uma segunda região onde se localizam células fotovoltaicas, para as quais a luz solar é direcionada pelas lentes Fresnel e onde a energia solar é convertida em elétrica. Visando maximizar o funcionamento das células fotovoltaicas, essa área possui canais por onde  
10        pode passa ar ou fluido com a função de resfriá-las.

Podemos verificar, entretanto, que todos estes equipamentos apresentam um erro que está em sua própria montagem. O fato de o coletor ser colocado atrás do módulo, como verificamos nos documentos descritos acima, apresenta  
15        dois problemas: impede que o sol atinja o coletor, prejudicando o aquecimento da água; e se a água estiver mais quente que o módulo, as células solares passarão a ser aquecidas, prejudicando a conversão fotovoltaica.

Diferentemente das patentes mencionadas anteriormente,  
20        o documento **US6063996** mostra um sistema híbrido montado em formato triangular onde em uma face há células solares enquanto a outra atua como coletor. O fluido passa por baixo desta estrutura triangular, retirando calor destas duas faces e, em consequência, se aquecendo.

25        Como dito anteriormente, esta patente também sofre com o problema de aquecer as células se o fluido estiver mais quente. Assim, o objetivo do produto não pode mais ser alcançado, além de, na realidade, piorar a eficiência das células. Este é um problema comum e se repete em  
30        praticamente todos os sistemas híbridos existentes.

A presente invenção, diferente das descritas anteriormente, utiliza, de forma vantajosa, água sempre

vinda de uma caixa d'água para resfriar as células fotovoltaicas e, portanto, fria. Essa água, após capturar o calor das células fotovoltaicas, é transferida para um boiler, não retornando então à caixa d'água e permitindo  
5 que a eficiência dessas células se mantenha constante. Deve-se observar que na redução da demanda de água aquecida, o sistema simplesmente para de receber água fria e a função de resfriamento da célula é reduzida. De qualquer forma, o sistema proposto aqui na média terá as  
10 células trabalhando com maior eficiência maior que os antes propostos.

Além disso, uma segunda falha nos sistemas já inventados é a não-utilização da reflexão de infravermelho das células do módulo solar. Esta reflexão ocorre  
15 principalmente na região de contato elétrico sob as células. Ela ocorre para a faixa de radiação infravermelha transparente e não aproveitada pela célula. Por ser transparente, ela atravessa o material da célula e reflete no metal dos contatos. Esta reflexão pode ser utilizada  
20 para auxiliar o aquecimento da água, aumentando o aproveitamento da energia solar. A presente invenção, vantajosamente, posiciona os dois dispositivos, coletor térmico e células solares, lado a lado, em um ângulo pré-determinado, de forma que as células solares reflitam o  
25 infravermelho sobre os coletores térmicos.

Dessa forma, amplia-se o aproveitamento da reflexão e é favorecido ainda mais o aquecimento da água, a qual, por sua vez, é a mesma que foi armazenada no boiler e já está, portanto, pré-aquecida.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO**

A presente invenção trata-se de um sistema híbrido de geração fotovoltaica e de aquecimento de água

que compreende módulo de células solares, coletor solar térmico, trocador de calor, conexões, boiler e tubulações de água.

5           Nesse sistema, o módulo de células solares, por sua vez, compreende uma placa polimérica superior, células solares, uma camada metálica, uma placa polimérica inferior, uma conexão entre as células e fiação de saída, sendo que as mesmas podem ser dispostas sobre substratos cristalinos ou flexíveis.

10           Além disso, as camadas metálicas das células solares promovem reflexão do infravermelho incidente no coletor térmico, o qual, por sua vez, compreende uma estufa formada por um recipiente coberto preferencialmente por placa de vidro ou polímero  
15           transparente. Dentro deste recipiente se encontra um tubo em formato de serpentina ou alguns tubos paralelos que servem para conduzir a água que é aquecida pelo Sol.

            O coletor térmico e o trocador de calor, podem ter curvaturas e formas variáveis, sendo que o trocador  
20           de calor compreende preferencialmente tubos paralelos ou serpentina. O trocador de calor deve ainda ser posicionado internamente à estufa e atrás do módulo de células solares, sendo fixado neste através de um material adesivo e condutor térmico.

25           No sistema proposto, o módulo de células solares e o coletor solar térmico devem ser posicionados voltados para a incidência da radiação solar, sendo que um ou ambos os dispositivos podem ser fixos ou móveis. No caso de serem móveis, o posicionamento desses  
30           dispositivos ocorre através de um sistema eletrônico, preferencialmente um sistema caça-sol e poderá haver variação na angulação entre eles ou rotação do sistema.

As conexões que formam o sistema são resistentes à temperatura e à fadiga, podendo ser metálicas ou poliméricas quando o sistema for fixo, ou formadas por um material flexível, porém resistente, quando for móvel.

A presente invenção também compreende um boiler com uma entrada de água proveniente do trocador de calor posicionada na parte inferior, uma saída de água também posicionada na porção inferior e uma entrada para água proveniente do coletor solar ser posicionada na zona superior do boiler. Além disso, ainda compõe o boiler um ladrão, uma bóia ou sistema eletrônico para controle do volume de água e uma saída de água posicionada na porção superior para consumo.

#### **BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS**

**Figura 1:** Visão global da presente invenção com os quatro elementos principais presentes. Neste caso, o grau de liberdade entre o coletor e a base é angular entre os planos destes.

**Figura 2:** Visão global da presente invenção com os quatro elementos principais presentes. Neste caso, o grau de liberdade entre o coletor e a base é rotação do sistema em torno da normal destes planos.

**Figura 3:** Vista superior de possíveis tipos de coletor ou trocador de calor com tubos paralelos.

**Figura 4:** Vista superior de possíveis tipos de coletor ou trocador de calor com uma serpentina.

**Figura 5:** Estrutura típica de um módulo de células solares.

**Figura 6:** Estrutura comum de um boiler.

**Figura 7:** Taxa de refletância de partes de uma célula solar obtida por comprimento de onda (nm).

**Figura 8:** Quantidade de corrente elétrica que passa pela célula (I), em relação à tensão na célula (V).

5 **Figura 9:** Tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) em relação à temperatura da célula solar (T).

**Figura 10:** Potência gerada por uma célula solar (P), normalizada em 20°C, em relação à temperatura da célula solar (T).

10 **Figura 11:** Variação da temperatura da água no coletor ( $\theta$ ) em graus Celsius, em relação ao tempo (T) em minutos.

**Figura 12:** Variação da temperatura da água no coletor ( $\theta$ ) em graus Celsius, em relação ao tempo (T) em minutos, com incidência de luz a 15°.

15 **Figura 13:** Variação da temperatura da água ( $\theta$ ) medida em graus Celsius em relação ao tempo em minutos.

**Figura 14:** Variação da temperatura da água ( $\theta$ ), medida em graus Celsius, em relação ao tempo em minutos.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

20 A presente invenção se baseia na utilização de quatro dispositivos principais em conjunto: um módulo de células solares **31**, um trocador de calor **11**, um coletor solar térmico **41** e um reservatório ou boiler **51**. O trocador de calor **11** é posicionado na parte posterior do módulo solar

25 **31**, colado com um adesivo com alta condutividade térmica **21**, com o objetivo de retirar calor das células e pré-aquecer a água. Uma das arestas do coletor solar térmico é acoplada a uma aresta do módulo, de modo que haja um grau de liberdade angular **05** entre eles. Assim, a inclinação do

30 módulo **31** com o trocador acoplado **11** pode ser ajustada de

acordo com a posição do Sol, de modo à utilizar a reflexão de infravermelho **04** das células e, conseqüentemente, maximizar a extração da energia solar **03**. Também há um grau de liberdade entre o coletor e a base do sistema, de forma  
5 que haja mobilidade entre eles. Esta mobilidade pode ser por movimento angular **06** entre os planos do coletor **41** e da base ou rotacional **07** em torno da normal do coletor.

O posicionamento pode ser providenciado por um posicionador eletrônico movido por um servo-motor acoplado  
10 ao sistema mecânico. A utilização deste posicionador fica a critério do projeto, já que em algumas situações é melhor não utilizá-lo. Neste caso, o sistema deve ser posicionado de forma que a extração da energia solar **03** seja maximizada ao meio-dia, momento em que a radiação solar está mais  
15 intensa.

O fluxo da água é um dos procedimentos fundamentais desta invenção. A água proveniente de um fornecedor **51** (como uma caixa d'água ou da rua, por exemplo) deve passar primeiro pelo trocador de calor **11**. Assim, como esta água é  
20 sempre fria, ela irá sempre retirar calor do módulo **31** e nunca aquecê-lo. Esta água pré-aquecida **91** entra no boiler **51** para poder entrar no ciclo de aquecimento com o coletor solar térmico **41**. Este aquecimento é causado pela incidência da radiação solar **03** sobre o coletor **41** e, como  
25 já dito, é auxiliado com a radiação refletida **04** pelo módulo **31**.

Com estas características, o presente invento supera todos os problemas que antes eram apresentados nas invenções anteriores.

30 A presente invenção, na **Figura 1** e **2**, apresenta um sistema híbrido de geração fotovoltaica e de aquecimento de água, sendo formada por, majoritariamente, quatro elementos

chaves: um trocador de calor **11**, um módulo de células solares **31**, um coletor solar térmico **41** e um boiler **51**. O trocador de calor **11** e o coletor solar **41** podem ser, por exemplo, dos tipos apresentados nas **Figuras 3 e 4**. O módulo **31** deve ter uma estrutura aproximada à mostrada na **Figura 5**. Enquanto isto, um tipo de reservatório para o boiler **51** é desenhado na **Figura 6**.

Na **Figura 1** podemos ver o primeiro tipo que a presente invenção pode ter. Nela podemos ver os quatro elementos principais citados acima. Além disto, podemos ver as tubulações de água **02**. Estas tubulações de água **02** podem ser rígidas (feitas de metal ou de PVC) ou flexíveis (mangueiras poliméricas ou metálicas, por exemplo). O tipo destas tubulações de água **02** dependerá apenas de como será a atuação do sistema proposto. Os graus de liberdade do sistema **05**, que é a inclinação que o coletor **41** pode ter em relação à base do sistema, e **06**, que é a movimentação angular entre o módulo **31** e o coletor **41**, indicam as movimentações que o sistema possui. Esta movimentação deve ser providenciada por um sistema eletrônico de constante posicionamento, de forma que o sistema se ajuste de tal maneira que a extração de energia solar proveniente da radiação **03** seja máxima. Esta posição se baseia na incidência da radiação solar **03** sobre os dispositivos **31** e **41**. A radiação solar **03** que incide sobre o módulo **31** é convertida em energia elétrica. Enquanto isto, a radiação **03** incidente sobre o coletor **41** é utilizada para aquecer a água (ou seja, se transforma em energia térmica). Também há a reflexão de infravermelho **04**, que será explicada quando voltarmos ao assunto de posicionamento.

Há dois fatores que são de extrema importância para o funcionamento da presente invenção. Quanto maior a temperatura das células solares **38** presente no módulo **31**

(apresentadas na **Figura 5**), menor a sua eficiência e, portanto, pior será a conversão para energia elétrica. Por isto, existe um trocador de calor **11** posicionado atrás do módulo **31** para resfriar as células **38**. Além deste  
5 resfriamento, a água é pré-aquecida pelo trocador **11** antes de entrar no boiler **51**. Assim, a temperatura inicial da água a ser aquecida no coletor **41** é maior, diminuindo o tempo necessário para aquecer a água até a temperatura desejada.

10 Este trocador **11** é colado no módulo **31** através de um adesivo **21**. Este adesivo **21**, além de ter a função de colar os dois dispositivos **11** e **31**, deve também conduzir bem o calor do módulo **31** para o trocador **11** para que o resfriamento das células solares **38** aconteça com  
15 eficiência. Assim, o material do adesivo **21** tem que ser um bom colante com uma excelente condução térmica. Do contrário, o funcionamento do sistema pode ser comprometido.

O segundo fator importante é o posicionamento do  
20 sistema. Este fator deve ser cuidadosamente trabalhado porque a energia que o sistema utiliza não é somente da radiação incidente **03**. Como as células solares **38** refletem o infravermelho devido à uma base metálica **36** que elas possuem, esta reflexão **04** é utilizada para auxiliar o  
25 aquecimento da água que passa pelo coletor **41**. Assim, tanto o ângulo de inclinação **05** do coletor **41** quanto o ângulo relativo **06** devem ser ajustados até uma posição ótima de modo a aproveitar melhor a energia solar. Como já dito, este posicionamento pode ser feito eletronicamente com um  
30 sistema de caça-sol.

Estes graus de liberdade **05** e/ou **06** podem ser anulados ao restringir uma posição definitiva para algum dos ou os dois elementos. Assim, podemos ter quatro situações:

1) Os dois ângulo **05** e **06** livres, regulados por um sistema eletrônico.

2) O ângulo **05** é fixo (preso na base, por exemplo) e o ângulo **06** é móvel, regulado por um sistema eletrônico;

5 3) O ângulo **06** é fixo em uma determinada posição e o ângulo **05** é móvel, regulado por um sistema eletrônico;

4) Os dois ângulos são fixos, de tal modo que a extração da energia solar seja mais eficaz. Aconselha-se regulá-lo na posição onde a extração da energia seja  
10 máxima ao meio-dia.

Se houver graus de liberdade no sistema, as tubulações de água **02** para transportar água devem ser flexíveis, como mangueiras poliméricas ou metálicas. Portanto, o material que forma **02** deve ser um polímero ou metal flexível e  
15 resistente à fadiga e à variação de temperatura. Se o sistema for fixo, pode-se utilizar tubulações de água **02** rígidas, que podem ser metálicas ou poliméricas, desde que sejam também resistentes à variação de temperatura. Caso o sistema possua apenas um grau de liberdade, pode-se utilizar  
20 apenas tubulações de água **02** flexíveis aonde há movimentação e rígidas aonde o elemento é fixo.

Na **Figura 2** temos um segundo tipo para a presente invenção. O sistema é bastante parecido com o caso apresentado na **Figura 1**. Porém, aqui o grau de liberdade **05**  
25 não existe, dando lugar a um outro tipo de grau de liberdade **07**. Este movimento **07** é a rotação do coletor em relação à base. A utilização de **05** ou **07** fica à critério do projeto específico de instalação da presente invenção, já que em alguns casos pode ser mais simples utilizar **05** e em  
30 outros **07**. Todas as análises de utilização de um sistema de posicionamento, e materiais a serem utilizados, feitas para o primeiro caso da **Figura 1** (que utiliza o grau de

liberdade **05**) podem ser consideradas para o segundo caso da **Figura 2** (que usa o grau de liberdade **07**).

Na **Figura 3** e na **Figura 4** temos dois exemplos de trocador de calor **11** e de coletor solar térmico **41** que podemos ser utilizados para a presente invenção. Apesar das representações nas figuras, o coletor **41** e o trocador **11** podem ter curvaturas e suas formas, se for adequado para o projeto.

Começemos com o trocador de calor **11**. Na **Figura 3**, temos um **11** do tipo de tubos paralelos **14**. Nele a água entra por **12**, passando pelos tubos paralelos **14** sendo pré-aquecida. Logo depois, a água sai por **13** para passar pelas tubulações de água **02** e entra no boiler **51**. Na **Figura 4**, temos um segundo tipo de trocador de calor **11**, onde temos uma serpentina **15** ao invés de tubos paralelos **14**. O funcionamento é o mesmo: a água entra por **12**, passa pela serpentina **15** sendo pré-aquecida e sai por **13**, indo para o boiler **51**.

No caso das figuras representarem um coletor solar térmico, os processos são os mesmos. A entrada de água continua sendo **42** e a saída **43**. A serpentina **45** e os tubos paralelos **44** continuam sendo os meios de aquecer a água. Porém, o coletor **41** deve ter uma estufa para poder armazenar o calor. Esta estufa pode ser uma placa de vidro na parte superior da caixa que guarda a serpentina **45** ou então uma placa de um polímero transparente.

Entretanto, seja o coletor **41** ou o trocador de calor **11** devem ser de cor negra, de modo a absorver melhor a radiação de calor. Esta coloração pode ser adquirida por pintura ou por jateamento de areia, por exemplo.

A **Figura 5** apresenta a estrutura básica e comum de um módulo de células solares **31**. Nela podemos ver a armação do

módulo **34**, a placa de vidro que protege as células **32**, a placa polimérica superior **33** para proteção, as células solares **38**, a camada metálica **36**, a placa polimérica inferior **35**, a conexão entre as células **37** e, por fim, a  
5 fiação de saída **32**. Assim como o coletor **41** e o trocador de calor **11**, o módulo **31** pode ter curvaturas em sua forma.

Nesta figura podemos notar alguns elementos importantes no módulo **31** necessários para o funcionamento do sistema. A armação **34** que o protege deve sofrer  
10 adaptações necessárias para poder acoplar o módulo **31** ao coletor **41** ou ao sistema de posicionamento. Estas adaptações podem variar de acordo com o projeto de instalação. Assim, o material de **34** deve ser metálico ou polimérico com propriedades mecânicas adequadas.

15 Porém, o fator essencial do módulo é o contato metálico **36** que existe atrás das células solares **38**. A sua importância está em ele causar a reflexão de infravermelho **04** que auxilia o aquecimento da água. Se o módulo não possuir este contato **36** não haverá esta reflexão **04**.

20 O material dos demais elementos não é de grande importância para a funcionalidade do sistema híbrido. Portanto, por exemplo, as células solares **38** podem ser de silício monocristalino, silício policristalino, silício amorfo, orgânicas, CIGS, compostos III-V, etc. Elas podem  
25 estar sobre substratos cristalinos ou flexíveis.

Por fim, na **Figura 6** temos uma representação básica esquemática de um reservatório **51**, mais conhecido como boiler. Nele podemos identificar a entrada **52** de água pré-aquecida **91** proveniente do trocador de calor **11**; a saída **53**  
30 de água pré-aquecida **92** para ser aquecida no coletor solar **41**; a entrada **54** de água aquecida **93** pelo coletor **41**; o

ladrão **55**; uma bóia **56**; e uma saída **58** para a água quente **94** para consumo.

As representações da água entrando e saindo **91**, **92** e **93** mostram o caminho que a água **57** fez e ainda fará no ciclo de aquecimento solar. A disposição destas entradas **52** e **54** e saída **53** na estrutura do boiler **51** devem ser cuidadosamente feitas para que não prejudique a sua funcionalidade. Assim, a entrada **52** deve ser manejada de tal forma que a água **91** entre na parte de baixo da reserva **57**, pois é nesta região que a água **57** está mais fria. Este manejo pode ser a colocação imediata da entrada **54** na zona inferior do boiler **51** ou dobrando o cano para expulsar a água **91** na região de água fria, como representado na **Figura 6**. A saída **58** também deve ser bem planejada, de forma a retirar do boiler **51** a parte em que a água da reserva **57** está mais quente, direcionando-a para consumo.

Com a presença ou não de uma bomba para forçar o movimento da água (pois caso não haja bomba a água circula por convecção natural), as disposições da entrada **54** e da saída **53** são ainda importantes. A saída de água **53** deve ser posicionada na zona inferior do boiler **51**, pois é nesta região que a água **57** é mais fria e que, portanto, deve ser aquecida. Ao contrário deste, a entrada de água **54** proveniente do coletor **41** deve ser posicionada na zona superior do boiler **51**, parte em que a água **57** está mais quente, evitando misturar água em diferentes temperaturas e perder a água aquecida **93**.

A bóia **56** é um exemplo de controle do volume de água que entra no boiler **51**. Também pode ser utilizado em seu lugar um sistema eletrônico ou qualquer outra forma de controle.

### EXEMPLOS DE CONCRETIZAÇÃO

#### Exemplo 1: A reflexão de infravermelho da célula solar

Um módulo solar foi desmontado em algumas partes e foram feitos testes de refletividade. Estas partes eram o  
5 módulo com todas as suas camadas, o módulo sem o vidro e só do vidro que o protege (Figura 7).

Pudemos verificar que o módulo solar reflete em torno de 15% a 20% da radiação infravermelha incidente (entre 1100nm a 2300nm). Esta radiação de fato não é aproveitada  
10 pelas células de silício e são refletidas pelo contato de alumínio sob o substrato. Portanto, tal reflexão foi utilizada para auxiliar no aquecimento de água.

Por sua vez, um teste feito com copos pretos no Sol, com um espelho e o módulo refletindo mostrou que o módulo  
15 acrescenta uma parcela considerável de radiação sobre a água, aumentando a sua temperatura. O resultado está apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Indicação da temperatura final obtida pela água de acordo com os diferentes tipos de radiação  
20 incidente.

| RADIAÇÃO INCIDENTE     | TEMPERATURA FINAL |
|------------------------|-------------------|
| SOL                    | 40°C              |
| SOL + REFLEXÃO ESPELHO | 44°C              |
| SOL + REFLEXÃO MÓDULO  | 42°C              |

#### Exemplo 2: Caracterização da célula solar em diferentes temperaturas

Uma célula solar foi colocada em um controlador de  
25 temperatura, onde considerou-se que a célula estaria na mesma temperatura que a indicada no controlador. Assim, para cada temperatura, coletaram-se dados da corrente que

passava pela célula e a tensão nos terminais da mesma (Figura 8).

Observou-se também que a queda da tensão de circuito aberto ( $V_{oc}$ ) da célula solar é linear com o aumento da temperatura e, da mesma forma, que a potência máxima fornecida pela célula ( $P_{máx}$ ) também possui dependência linear com a temperatura.

Dessa forma, a diminuição da temperatura das células solares é um dos objetivos da presente invenção. Assim, para retirar calor do módulo fez-se uma passagem de água por baixo dele (resfriando-o) logo após a saída da caixa d'água antes de alimentar o boiler, deixando-a, portanto, pré-aquecida.

### **Exemplo 3: Teste do coletor**

O primeiro teste feito foi com uma fonte de iluminação incidindo na direção normal à superfície do coletor. Foi escolhida a distância de 15 cm (aleatoriamente) entre o coletor e o centro da luz. Na figura 13, vemos o aumento da temperatura e tendência assintótica a um valor terminal.

Com este teste de incidência normal podemos ver que o coletor está funcionando adequadamente sob a radiação da lâmpada incandescente e pode ser utilizado para futuros testes com confiança.

O coletor foi testado também com a luz incidindo com um ângulo de  $15^\circ$  em relação à superfície do coletor. O resultado, que pode ser observado na figura 11, que nesse caso, será a nossa referência, pois será nesta mesma posição e situação que as reflexões serão testadas.

O resultado do teste com a luz incidindo a  $15^\circ$  mostra que a água atingiu, no equilíbrio, a temperatura de  $10.6^\circ\text{C}$

acima da temperatura ambiente. Ou seja, nosso dado como referência será  $I = I_0$  para a radiação e  $\theta = \theta_0 = 10.6^\circ\text{C}$ .

#### **Exemplo 4: Testes de reflexão do módulo**

Com o resultado exposto no **Exemplo 3**, foi possível testar o quanto a reflexão de infravermelho das células solares sobre o coletor poderia afetar o aquecimento da água. Assim, o mesmo arranjo feito anteriormente (o da referência) foi utilizado para este experimento.

Primeiramente, testou-se o quanto um refletor excelente (espelho comum) melhoraria o sistema para compará-lo com a eficiência do módulo solar da presente invenção.

Podemos ver nas Figuras 13 e 14 que obteve-se variação de temperatura na água onde a luz era refletida pelo espelho  $\theta = 12,8^\circ\text{C}$ ; e variação da temperatura onde a luz era refletida pelo módulo  $\theta = 11,9^\circ\text{C}$ :

Com estes valores, os seguintes resultados para a reflexão do módulo e do espelho foram obtidos:

**Tabela 2:** Diferenças de temperatura da água em diferentes tipos de reflexão e quantidade de radiação incidente em cada um deles.

| EXPERIMENTO                       | DIFERENÇA DE TEMPERATURA ( $\theta$ ) | INTENSIDADE DA RADIAÇÃO |
|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Incidência oblíqua ( $15^\circ$ ) | $10.6^\circ\text{C}$                  | $I_0$                   |
| Com reflexão do espelho           | $12.8^\circ\text{C}$                  | $1,208 \cdot I_0$       |
| Com reflexão do módulo            | $11.9^\circ\text{C}$                  | $1,123 \cdot I_0$       |

Considerando-se que o espelho é o limite superior da atuação do módulo, enquanto a luz incidindo a  $15^\circ$  é o limite inferior, verificou-se que o módulo apresenta uma atuação impressionante, colaborando com uma parcela de 12,3% da radiação da lâmpada incandescente sobre o coletor.

**REINVIDICAÇÕES**

1) Sistema híbrido de geração fotovoltaica e de aquecimento de água **caracterizado por** compreender os seguintes dispositivos:

- módulo de células solares (31),
- coletor solar térmico (41),
- trocador de calor (11),
- boiler (51) e
- tubulações de água (02),

Sendo que:

os dispositivos módulo de células solares (31) e coletor solar térmico (41) estão posicionados lado a lado; e

o ângulo de inclinação (05) e o ângulo relativo (06) do coletor solar térmico (41) são ajustados até que a reflexão de infravermelho (04) incida no coletor solar térmico (41).

2) Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** módulo de células solares (31) compreender uma placa de vidro (32) ou material polimérico superior (33), células solares (38) com camadas metálicas (36) dispostas inferiormente a cada uma delas, placa polimérica inferior (35), conexão entre as células (37) e fiação de saída (32).

3) Sistema, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelas** ditas células solares (38) poderem ser dispostas sobre substratos cristalinos ou flexíveis.

4) Sistema, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelas** ditas camadas metálicas (36) existentes nas células solares (31) promoverem

reflexão do infravermelho (04) incidente no coletor solar térmico (41).

- 5) Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** coletor térmico (41) compreender uma estufa contendo tubos que podem ser em formato de serpentina (45) ou tubos paralelos (44).
- 6) Sistema, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado pela** estufa compreender um recipiente coberto preferencialmente por placa de vidro ou polímero transparente.
- 7) Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** coletor solar térmico (41) e o trocador de calor (11) poderem ter curvaturas e formas variáveis.
- 8) Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** trocador de calor (11) compreender preferencialmente tubos paralelos (14) ou serpentina (15).
- 9) Sistema, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelos** ditos tubos (14) e serpentina (15) serem preferencialmente posicionados internamente à estufa.
- 10) Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** trocador de calor (11) ser posicionado atrás do módulo de células solares (31).
- 11) Sistema, de acordo com a reivindicação 10, **caracterizado pelo** trocador de calor (11) ser fixado ao módulo de células solares (31) através de um adesivo (21).

- 12) Sistema, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado pelo** dito adesivo (21) ser de material colante e condutor térmico.
- 13) Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelos** dispositivos (31) e (41) serem posicionados voltados para a incidência da radiação solar (03).
- 14) Sistema, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado pelo** posicionamento de (31), (41), ou de ambos os dispositivos poder ser fixo.
- 15) Sistema, de acordo com as reivindicações 13, caracterizado pelo posicionamento de (31), (41), ou de ambos os dispositivos poder ser móvel.
- 16) Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pela** movimentação dos dispositivos (31) e (41) ser preferencialmente realizada por um sistema eletrônico de constante posicionamento.
- 17) Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelo** posicionamento dos ditos dispositivos poder variar na angulação entre os mesmos ou através de rotação do sistema.
- 18) Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelas** tubulações de água (02) serem resistentes à fadiga e à variação de temperatura.
- 19) Sistema, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado pelas** tubulações de água (02) serem rígidas no sistema fixo, preferencialmente, metálicas ou poliméricas.
- 20) Sistema, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado pelas** tubulações de água (02) serem

flexíveis no sistema móvel, preferencialmente mangueiras poliméricas ou metálicas.

- 21) Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** boiler (51) compreender uma entrada de água (52) pelo trocador de calor (11), uma saída de água (53) para o coletor solar térmico (41), uma entrada de água (54) pelo coletor solar térmico (41), um ladrão (55), uma bóia (56) e uma saída (58) de água para consumo.
- 22) Sistema, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pela** entrada de água (52) do trocador de calor (11) ser posicionada na zona inferior do boiler (51).
- 23) Sistema, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pela** saída de água (53) ser posicionada na zona inferior do boiler (51).
- 24) Sistema, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pela** entrada de água (54) proveniente do coletor solar térmico (41) ser posicionada na zona superior do boiler (51).
- 25) Sistema, de acordo com a reivindicação 21, **caracterizado pelo** boiler (51) compreender uma bóia (56) ou um sistema eletrônico de controle de volume de água.

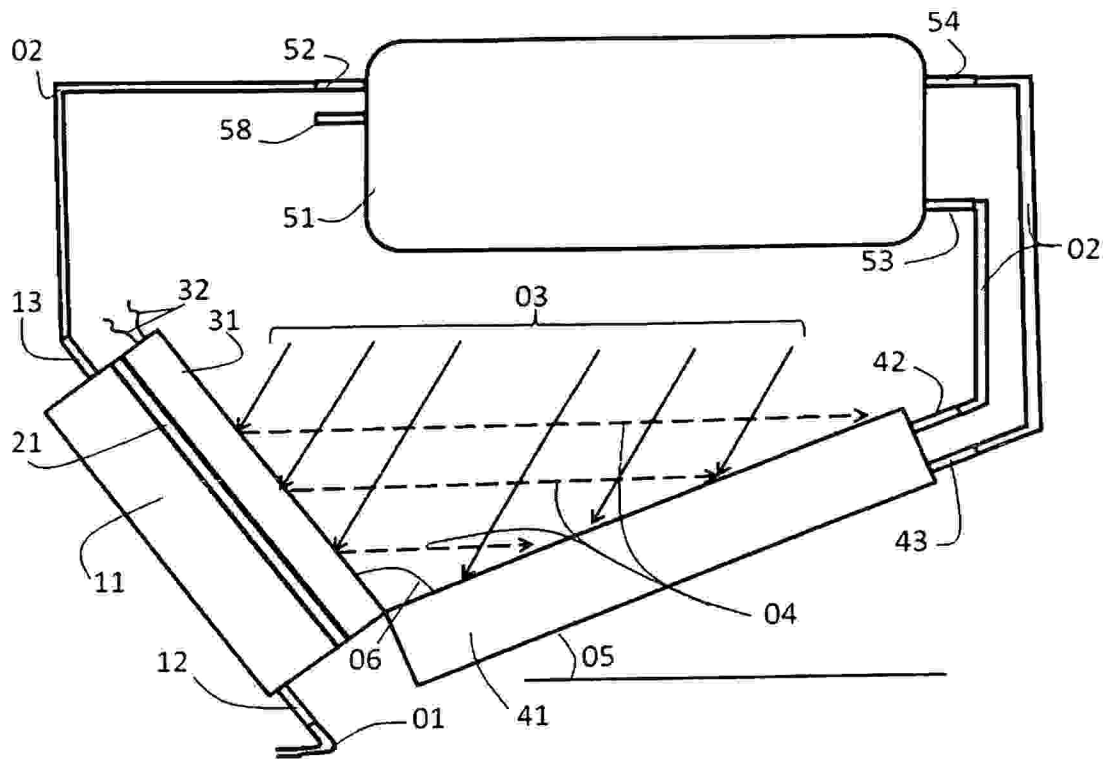
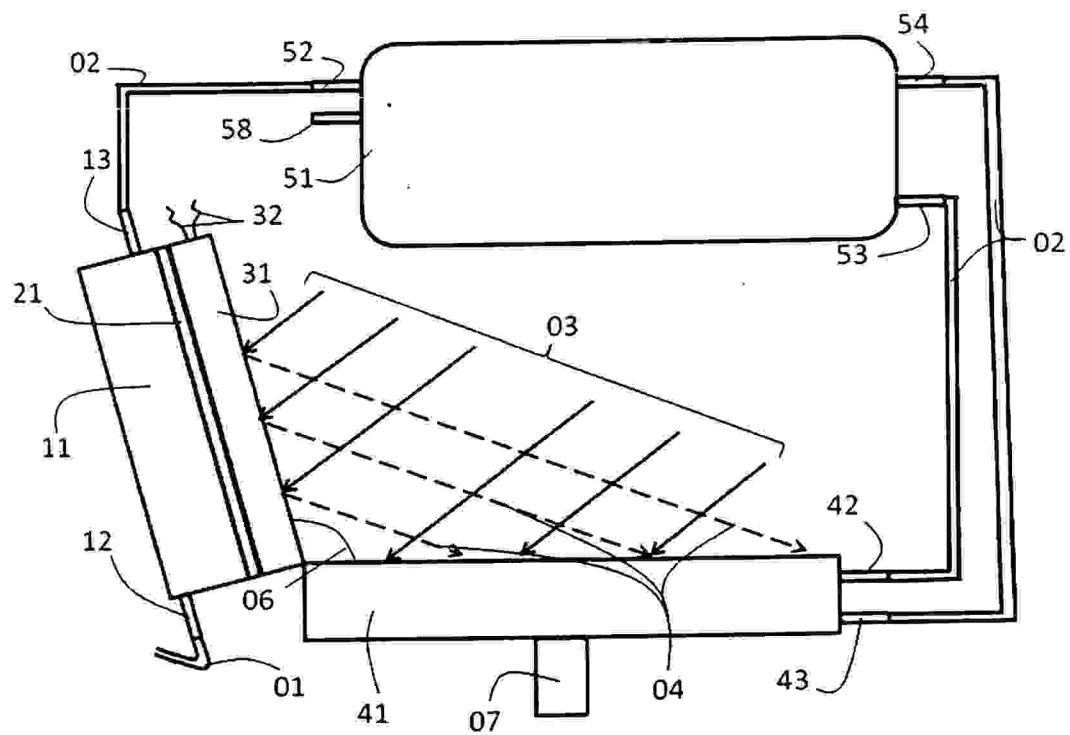


Figura 1





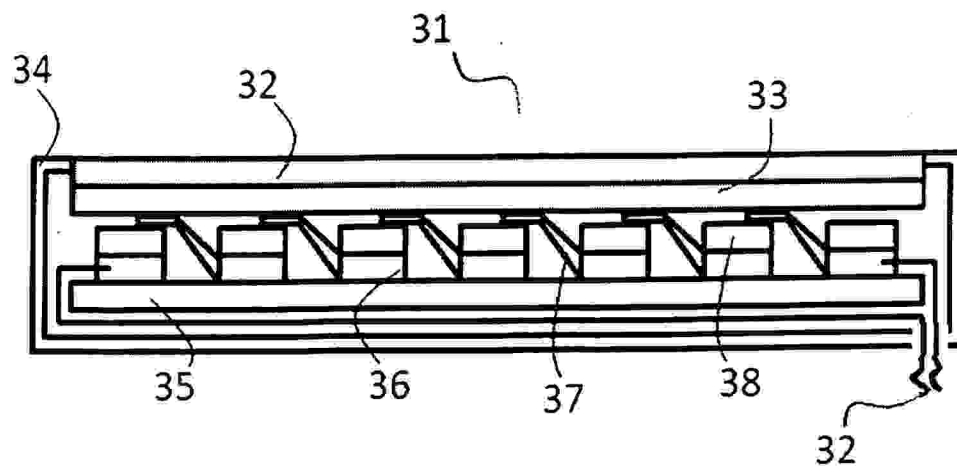


Figura 5

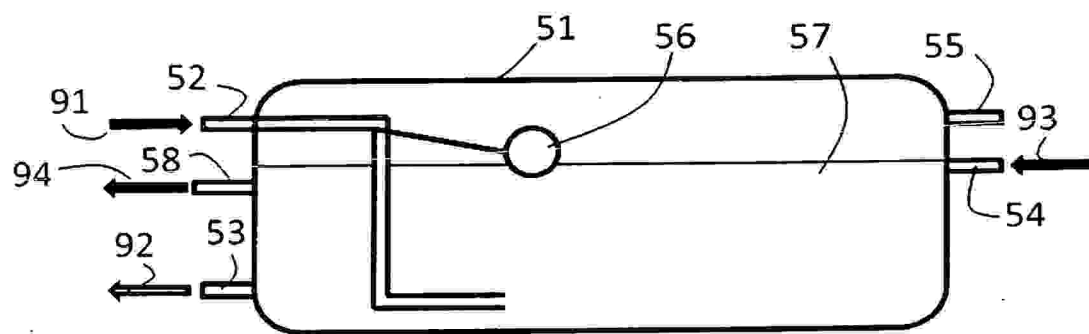


Figura 6

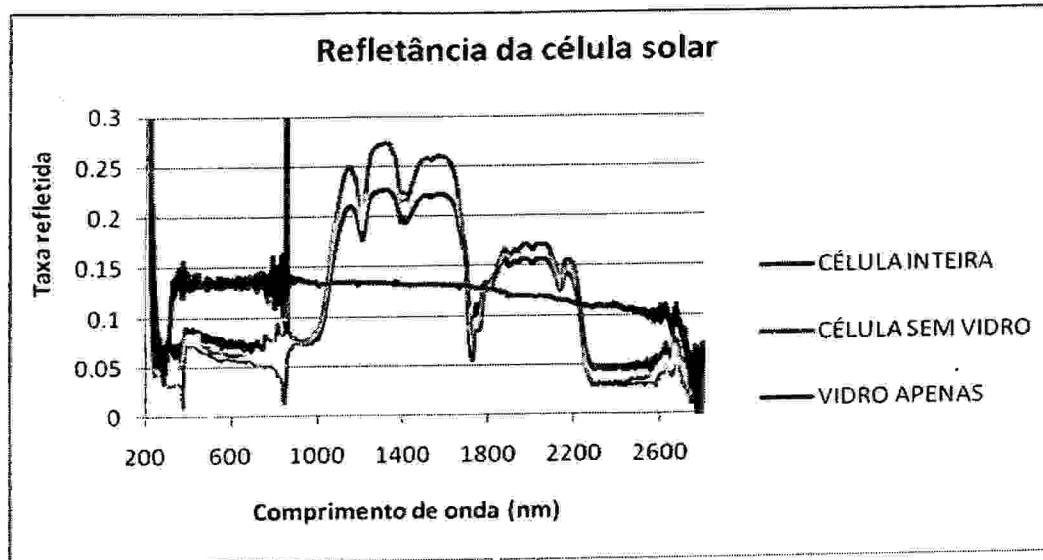


Figura 7

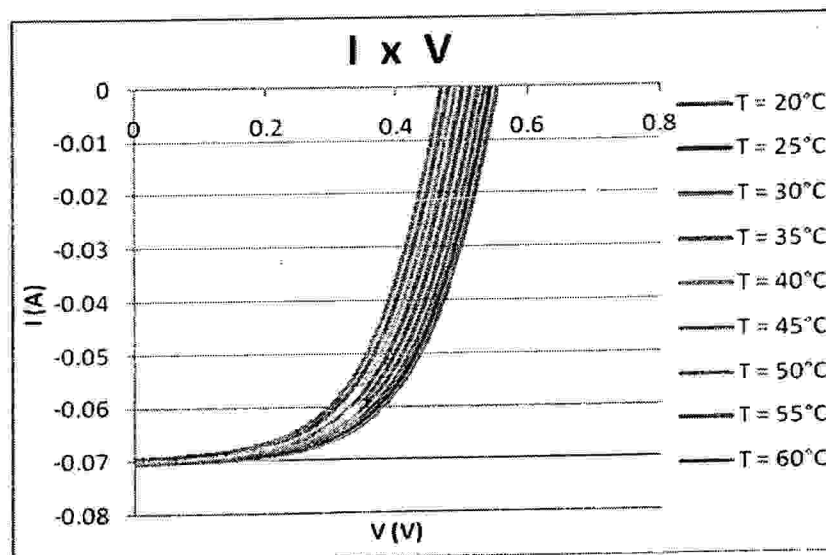


Figura 8

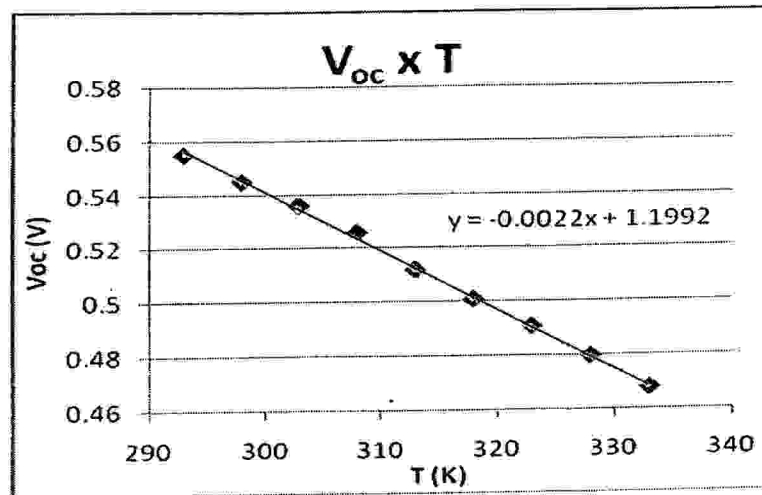


Figura 9

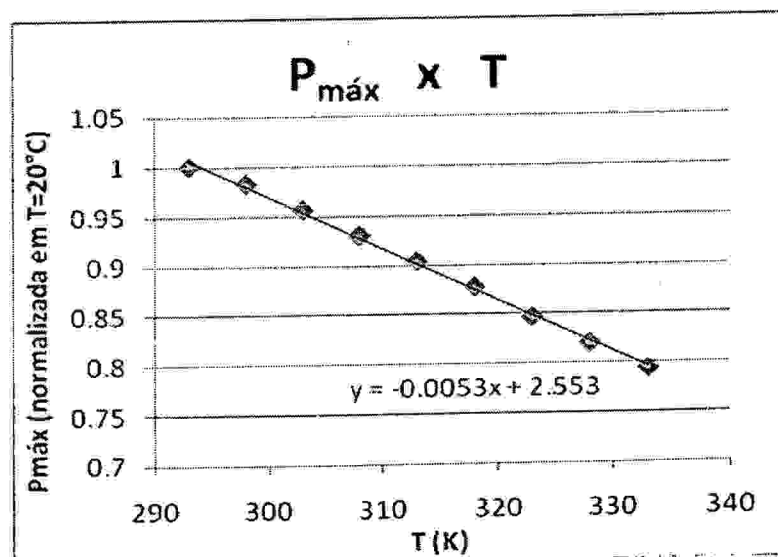


Figura 10

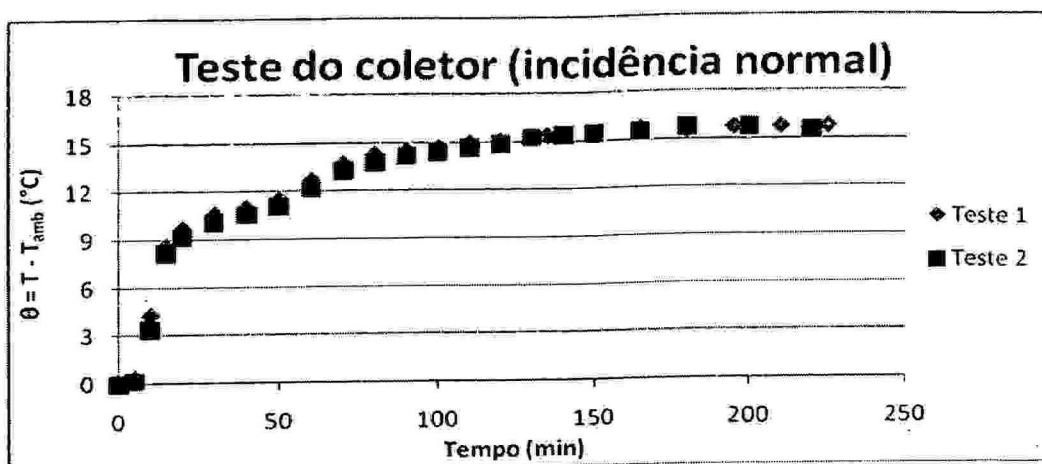


Figura 11

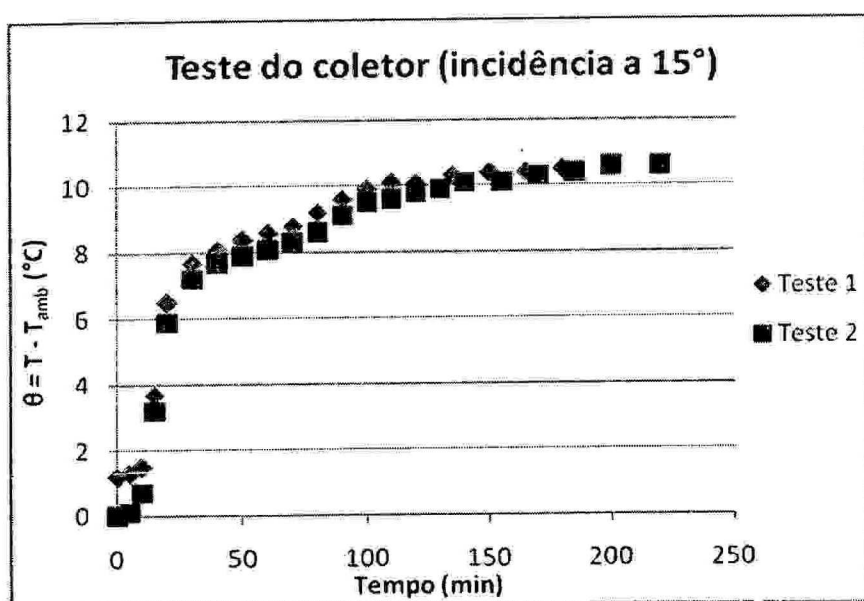


Figura 12

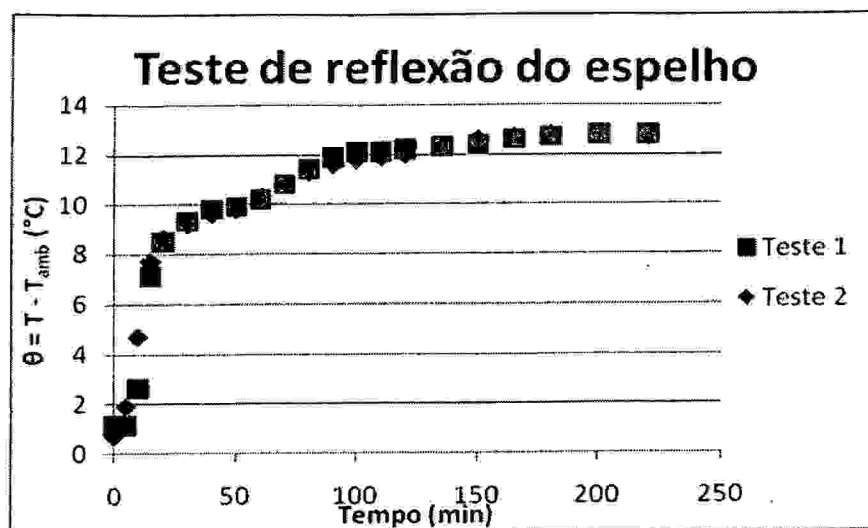


Figura 13

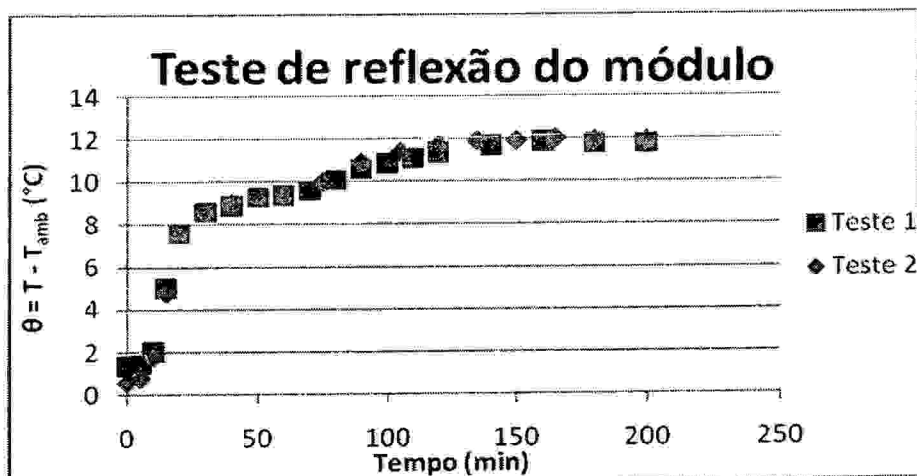


Figura 14