



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

MARÍLIA BRILHANTE QUEIROZ

**DESENVOLVIMENTO E APERFEIÇOAMENTO DE RASTREAMENTO
AUTOMÁTICO PARA COLETOR SOLAR PARABÓLICO E COMPARAÇÃO
COM COLETOR SOLAR PARABÓLICO DE RASTREAMENTO MANUAL**

FORTALEZA

2017

MARÍLIA BRILHANTE QUEIROZ

DESENVOLVIMENTO E APERFEIÇOAMENTO DE RASTREAMENTO
AUTOMÁTICO PARA COLETOR SOLAR PARABÓLICO E COMPARAÇÃO
COM COLETOR SOLAR PARABÓLICO DE RASTREAMENTO MANUAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
de Energias Renováveis do
Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal
do Ceará, como parte dos requisitos
para obtenção do título de
Engenheira de Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Alexandre
Costa Rocha

FORTALEZA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Q45d Queiroz, Marília Brilhante.

Desenvolvimento e aperfeiçoamento de rastreamento automático para coletor solar parabólico e comparação com coletor solar parabólico de rastreamento manual / Marília Brilhante Queiroz. – 2017.

49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha.

1. Energia solar. 2. Concentrador parabólico. 3. Rastreamento automático. I. Título.

CDD 621.042

MARÍLIA BRILHANTE QUEIROZ

DESENVOLVIMENTO E APERFEIÇOAMENTO DE RASTREAMENTO
AUTOMÁTICO PARA COLETOR SOLAR PARABÓLICO E COMPARAÇÃO
COM COLETOR SOLAR PARABÓLICO DE RASTREAMENTO MANUAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
de Energias Renováveis do
Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal
do Ceará, como parte dos requisitos
para obtenção do título de
Engenheira de Energias Renováveis.

Aprovada em ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Ana Fabiola Leite Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Adonias Queiroz e
Conceição Brilhante e ao meu noivo
Rafael Pacheco por toda a paciência
e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por sempre me apoiarem e insistirem para que eu estudasse sempre para alcançar meus objetivos, particularmente ao meu pai por sempre se esforçar para me proporcionar o melhor e agradeço especialmente a minha mãe por todas as tabuadas compradas ao longo da minha infância, pelas horas dedicadas aos meus estudos e por todas as conversas que me fizeram chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Paulo Alexandre Costa Rocha, por ter me aceitado como sua aluna e por ter feito uma excelente orientação, disponibilizando seu tempo e atenção sempre que possível.

Aos professores que eu tive a honra de ser aluna ao longo da graduação, pois por meio deles adquiri muito conhecimento.

Às professoras participantes da banca examinadora Prof^ª. Maria Eugênia Vieira da Silva e Prof. Francisco Nivaldo Aguiar Freire.

Ao meu noivo Rafael Pacheco por ter sido paciente e por ter me apoiado em todos os momentos com carinho e dedicação, sem ele teria sido mais difícil concluir esse trabalho.

Aos amigos Aline, Augusto e Rafael Wendel que me apoiaram durante a graduação e estiveram comigo em alguns momentos complicados.

Aos colegas do Laboratório de Energia Solar e Gás Natural que me ajudaram desde muito antes dos experimentos, não teria conseguido sem vocês.

Ao meu avô por ter estado presente sempre que eu precisei.

À minha avó Ritinha por todas as orações.

À minha avó Berenice, que não se encontra mais aqui, mas seria uma das pessoas mais felizes com a conclusão do curso.

À minha tia Leci por sempre ouvir tudo que eu tenho para falar.

Às minhas primas, Raquel e Rebeca, por sempre me apoiarem.

RESUMO

Uma fonte renovável de energia que se destaca das outras pela sua disposição e quantidade é a Energia Solar, cujo aproveitamento se divide basicamente em dois ramos de energia, Térmica e Fotovoltaica. Dentre as formas de captação de Energia Solar Térmica estão os concentradores parabólicos, que direcionam os raios do Sol para uma pequena área. Essa tecnologia permite a produção de energia térmica por meio de altas temperaturas e pressões. A energia térmica advinda do Sol e captada nos concentradores pode ser utilizada em chuveiros ou piscinas, para aquecer a água trazendo economia de energia. Ela também pode ser convertida em Energia Elétrica através de turbinas a vapor. O objetivo desse trabalho foi desenvolver um dispositivo de rastreamento eletrônico utilizando microcontrolador Arduino, para dessa forma tornar o processo de automação mais barato e de melhor acesso. Buscou-se ainda analisar, por meio da comparação com um concentrador parabólico de rastreamento manual, a melhoria da eficiência do concentrador, uma vez que não há interferência humana no processo. A análise foi feita por meio da comparação entre dados de temperatura de entrada e saída nos dois concentradores, para intervalos de tempo diferentes de rastreamento. Concluiu-se que a melhoria de eficiência do sistema automático para o manual é expressiva, pois para o mesmo intervalo de tempo o concentrador manual alcançou temperatura $63,3^{\circ}\text{C}$, enquanto o automático alcançou temperatura de 72°C . Ainda se verificou que com o concentrador parabólico com o rastreamento automático foi possível rastrear o Sol em intervalos de tempo menores, permitindo que a eficiência do concentrador seja ainda maior.

Palavras-chave: Energia Solar. Concentrador Parabólico. Rastreamento Automático. Arduino.

Sumário

1 Introdução	8
1.1 Objetivos	9
1.1.1 Objetivo Geral	9
1.1.2 Objetivos Específicos	9
2 Fundamentação Teórica.....	10
2.1 Radiação Solar e Rastreamento	10
2.2 Concentrador Parabólico e Como Funciona.....	12
2.3 Rastreamento Automático	14
2.3.1 Arduino	14
2.3.2 <i>Light Dependent Resistor</i>	16
2.3.3 Motor de Passo	17
3 Materiais e Métodos	18
3.1 Primeira fase – Concentradores com Rastreamento Manual.....	18
3.1.1 1º teste: Melhor arranjo para o Concentrador Parabólico.....	18
3.1.2 2º Teste: Melhor intervalo de tempo para rastreamento manual.....	20
3.2 Segunda Fase: Concentrador 1 com rastreamento automático e Concentrador 2 com rastreamento manual.....	21
3.2.1 1º Teste: Concentradores com rastreamento a cada 15 minutos.....	24
3.2.2 2º Teste: Concentradores com intervalos de tempo diferentes.....	24
4 Resultados e Discussão	25
4.1 Análise dos dados: Primeira fase – Concentradores com Rastreamento Manual.	25
4.1.1 1º teste: Melhor arranjo para o Concentrador Parabólico.....	25
4.1.2 2º teste: Melhor intervalo de tempo para rastreamento manual	30
4.2 Análise dos dados: Segunda Fase - Concentrador 1 com rastreamento automático e Concentrador 2 com rastreamento manual.....	35
4.2.1 1º teste: Concentradores com rastreamento a cada 15 minutos	35
4.2.2 2º Teste: Concentradores com intervalos de tempo diferentes.....	40
5 Conclusão	45
Referências	46
Apêndice 1 – Programa para Arduino utilizado no Rastreamento Solar dos Coletores Parabólicos	47

1.Introdução

O potencial da energia irradiada pelo Sol seria suficiente para suprir todas as nossas demandas de energia várias vezes. Como efetuar o aproveitamento dessa energia de forma cada vez mais eficiente é o grande desafio com que se defronta. Para superar esse desafio formas de aproveitamento foram desenvolvidas.

As principais formas de aproveitamento da energia solar, com aplicações e utilização diversas, são a térmica e a fotovoltaica.

Coletores Solares são equipamentos que captam a energia proveniente do Sol com a finalidade de transformá-la em energia térmica ou em energia elétrica. Eles podem ser planos, parabólicos, cônicos, entre outros; sua geometria pode variar de acordo com a aplicação.

Os coletores parabólicos, também chamados de concentradores parabólicos, possuem tubos absorvedores de calor que se localizam no foco da parábola, justamente porque os raios solares incidentes neste perfil são refletidos para o foco, aumentando a sua eficiência.

Por utilizarem energia solar, os concentradores parabólicos podem ter rastreamento da posição do Sol de forma manual ou automática, sendo a segunda para otimizar o rastreamento e evitar erro por interferência humana.

Durante esse projeto foram feitos testes tanto com concentradores parabólicos com rastreamento exclusivamente manual, quanto testes comparativos entre os dois tipos de rastreamento.

1.1.Objetivos

1.1.1.Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema de rastreamento eletrônico, utilizando microcontrolador Arduino, acoplado a um coletor parabólico com a finalidade de comparar as eficiências do rastreamento automático e do rastreamento manual, utilizando os coletores já existentes no Laboratório de Energia Solar e Gás Natural, LESGN, da Universidade Federal do Ceará, UFC.

1.1.2.Objetivos Específicos

- Obtenção do melhor sistema de rastreamento manual por meio de testes comparativos utilizando os dois coletores já existentes.
- Desenvolvimento do sistema de rastreamento automático e acoplamento a um dos coletores.
- Realização de testes comparativos entre os dois sistemas, rastreamento manual e rastreamento automático, para calcular a maior eficiência e analisar a viabilidade dos dois sistemas.

2. Fundamentação Teórica

2.1. Radiação Solar e Rastreamento

A energia radiante emitida pelo Sol, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre é dividida em dois tipos, radiação direta, que atinge a terra sem qualquer mudança na direção e radiação difusa, que atinge a superfície terrestre em diversas direções, devido às modificações introduzidas pela atmosfera e a presença de nuvens.

A quantidade de energia que incide sobre uma superfície unitária, normal aos raios solares, por unidade de tempo, no topo da atmosfera, é denominada de constante solar. A constante solar consiste na taxa à qual é recebida a energia solar, por unidade de área, no limite exterior da atmosfera terrestre para a distância média entre a Terra e o Sol. O seu valor é de 1353 W/m^2 . Existem tabelas com variações da constante solar em função da variação da distância Terra-Sol e a hora da passagem do Sol pelo plano Meridional (CRESESB,2006).

Com o intuito de aproveitar melhor a energia radiante, principalmente em regiões com muito sol, como é o caso do Brasil, e para que menos perdas ocorram, sistemas para rastrear os raios solares foram desenvolvidos, existem basicamente dois sistemas para o rastreamento da radiação, o rastreamento ativo e o rastreamento passivo. O rastreamento passivo ocorre por meio de cálculos dos ângulos que definem a posição do Sol, já o rastreamento ativo ocorre por meio de sensores que posicionam a superfície refletora com relação aos raios solares de forma que os raios incidam diretamente na superfície praticamente sem diferenças.

Para esse trabalho, o rastreamento manual deu-se através do método passivo e como só havia necessidade de deslocamento angular em uma direção, só foi feito o cálculo da declinação solar. Esse ângulo é formado entre o plano do Equador e a linha imaginária que une o centro da Terra ao centro do Sol, que varia de $-23,45^\circ$ e $+23,45^\circ$, sendo para o Norte a declinação positiva.

A declinação δ pode ser obtida através da Equação 1, de Cooper (1969):

$$\delta = 23,45 \text{ sen}\left(360 \frac{284+n}{365}\right) \quad (1)$$

A tabela 1 apresenta o valor n , que indica o dia do ano, ele é o valor utilizado na fórmula acima para calcular a declinação solar.

Tabela 1: Determinação de n para o cálculo de δ

Para o dia médio do mês				
Mês	n para o dia i do mês	Data	Dia do ano (n)	Declinação (δ)
Janeiro	i	17	17	-20,9
Fevereiro	$31 + i$	16	47	-13,0
Março	$59 + i$	16	75	-2,4
Abril	$90 + i$	15	105	9,4
Maio	$120 + i$	15	135	18,8
Junho	$151 + i$	11	162	23,1
Julho	$181 + i$	17	198	21,2
Agosto	$212 + i$	16	228	13,5
Setembro	$243 + i$	15	258	2,2
Outubro	$273 + i$	15	288	-9,6
Novembro	$304 + i$	14	318	-18,9
Dezembro	$334 + i$	10	344	-23,0

Fonte: Adaptação de Duffie e Beckman (2013)

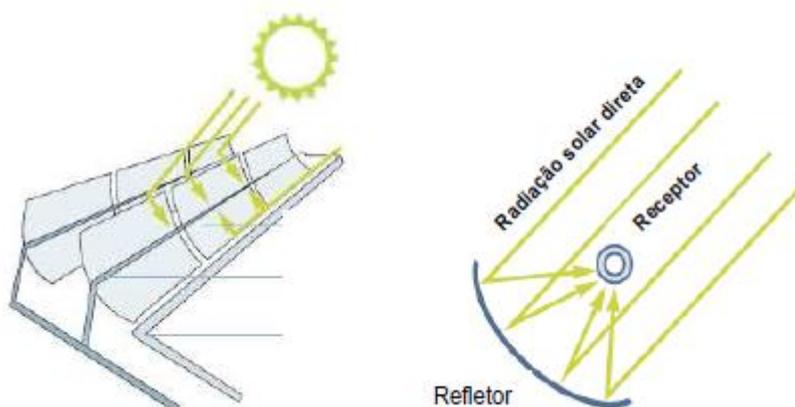
Este método não considera a influência do microclima, logo a utilização dele pode resultar em perda parcial do foco da radiação solar no tubo. Outro fator que influencia negativamente na utilização do rastreamento passivo é a exigência da presença de um controlador trabalhando em regime integral, já que os ângulos variam o tempo todo ao longo do dia.

2.2. Concentrador Parabólico e Como Funciona

Concentradores Parabólicos são utilizados há alguns anos na geração de energia elétrica, em usinas termosolares, na geração de vapor nas indústrias e como fonte térmica para aquecimento em residências.

Concentradores solares são utilizados quando há a necessidade de alcançar elevadas temperaturas. Eles possuem uma superfície refletora que faz o redirecionamento da radiação para o foco, esse processo diminui perda de radiação e por isso esse tipo de coletor alcança temperaturas mais elevadas que os coletores sem concentradores. A figura 1 demonstra como funciona a recepção da radiação pela superfície refletora e pelo tubo absorvedor.

Figura 1: Funcionamento da superfície refletora em um concentrador parabólico



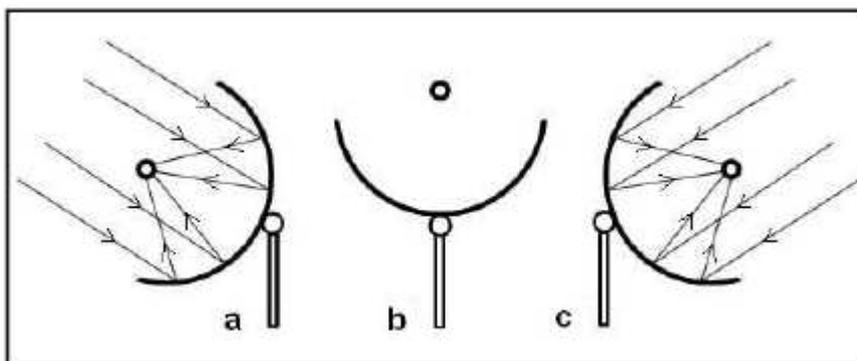
Fonte: SOLARPACES, 2011

No foco do concentrador encontra-se um absorvedor, que tem a função de transmitir a maior quantidade de calor para o fluido que circula no absorvedor, para que ele alcance a eficiência desejada. Em geral uma cobertura de vidro é usada ao redor do receptor para reduzir as perdas por convecção do receptor para o ar ambiente, reduzindo assim o coeficiente de perda de calor (KALOGIROU, 2009).

Como representado na Figura 2, o funcionamento do concentrador parabólico normalmente inicia no começo do dia voltado para o Leste (ou nascente) e no final do dia voltado para o Oeste (ou poente).

Quando se finaliza o processo diário, a superfície refletora pode ser virada para o nascente ou ser mantida no poente e ao reiniciar a operação ser virada para o Leste.

Figura 2: Posição da parábola ao longo do dia



Fonte: Sousa, 2009 – Fortaleza –Ce

Quando a parábola está em 'a', está voltada para o Leste e é o início do dia, o momento 'b' mostra a parábola ao meio dia e na posição 'c' ela está voltada para o Oeste e é o fim do dia.

2.3.Rastreamento Automático

Com o intuito de melhorar a eficiência do concentrador e de diminuir a necessidade da participação humana, métodos de automatização do sistema têm sido pesquisados e desenvolvidos.

O rastreamento automático, ou seja, o rastreamento ativo necessita de sensores que capturem a energia irradiada pelo Sol.

Buscando diminuir os custos com automatização, utilizou-se Arduino, que é um microcontrolador com baixo custo. Também foi usado *Light Dependent Resistor* (LDR), para captar a luminosidade do Sol, e para movimentar o sistema e permitir que ocorra o rastreamento é necessário um motor de passo, que por ser bem preciso é o tipo mais indicado de motor.

2.3.1.Arduino

Para automatizar um projeto o custo normalmente é bem elevado, e com a intenção de diminuir os gastos destaca-se a plataforma de hardware Arduino.

Por ser uma plataforma com código aberto existem vários fabricantes, o que o torna de baixo custo, também possui fácil acesso, permitindo que qualquer pessoa interessada desenvolva um projeto. A soma dessas características permite maior independência aos processos de automatização.

O Arduino UNO é um sistema eletrônico concebido na Itália. Ele é uma plataforma livre para prototipagem com linguagem própria baseado no *wiring*, que é uma estrutura de programação que permite microcontroladores atuarem sobre outros dispositivos conectados a eles, de Banzi (2011).

Atualmente, seu *hardware* é feito através de um microcontrolador Atmel AVR, sendo que este não é um requisito formal e pode ser estendido se, tanto ele quanto a ferramenta alternativa suportarem a linguagem Arduino, e forem aceitas por seu projeto. Considerando esta característica, muitos projetos paralelos se inspiram em cópias modificadas com placas de expansões, e acabam recebendo seus próprios nomes (ARDUINO, 2016).

Sua placa consiste em um microcontrolador Atmel AVR de 8 bits, com componentes complementares para facilitar a programação e incorporação para outros circuitos. Um importante aspecto é a maneira padrão que os conectores são

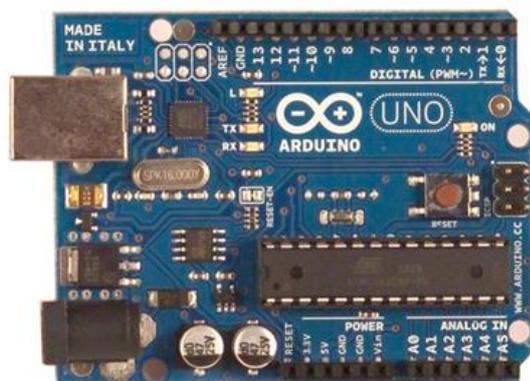
expostos, permitindo a CPU ser interligada a outros módulos expansivos, conhecidos como *shields*. Os Arduinos originais utilizam a série de *chips* megaAVR, especialmente os ATmega8, ATmega168, ATmega328 e a ATmega1280; porém muitos outros processadores foram utilizados por clones deles (BANZI, 2011).

A grande maioria das placas inclui um regulador linear de 5 volts e um oscilador de cristal de 16 MHz (podendo haver variantes com um ressonador cerâmico), embora alguns esquemas como o *LilyPad* usem até 8 MHz e dispensem um regulador de tensão embutido, por ter uma forma específica de restrições de fator. Além de ser microcontrolador, o componente também é pré-programado com um *bootloader*, o que simplifica o carregamento de programas para o *chip* de memória *flash* embutido, em comparação com outros aparelhos que geralmente demandam um *chip* programador externo (ARDUINO, 2016).

2.3.1.1 Arduino UNO

O Arduino Uno, apresentado na Figura 3, é uma placa de microcontrolador baseado no ATmega328. Tem 14 pinos digitais de entrada/saída (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um *clock* de 16 MHz, uma conexão USB, um conector de alimentação, um conector ICSP, e um botão de reset. Possui também os componentes necessários para o funcionamento do microcontrolador. Assim, basta conectá-lo a um computador com um cabo USB ou ligá-lo com um adaptador AC para DC ou bateria para iniciar o seu funcionamento.

Figura 3: Arduino UNO visto de frente



Fonte: Arduino UNO, 2016

2.3.2. Light Dependent Resistor

Light Dependent Resistor (LDR), Figura 4, é um resistor variável passivo, ou seja, a resistência varia com a intensidade da luz que incide sobre ele.

O LDR é construído a partir de material semicondutor com elevada resistência elétrica. Quando a luz que incide sobre o semicondutor tem uma frequência suficiente, os fótons que incidem sobre o semicondutor libertam elétrons para a banda condutora que irão melhorar a sua condutividade e assim diminuir a resistência.

Ele foi escolhido para o projeto por ser um componente eletrônico de baixo custo e de fácil utilização.

Figura 4: Modelo de LDR



Fonte: Raspberry Pi Foundation

2.3.3. Motor de Passo

Os Motores de Passo convertem pulsos elétricos em movimentos mecânicos que geram variações angulares discretas. O rotor ou eixo de um motor de passo é rotacionado em pequenos incrementos angulares, denominados “passos”, quando pulsos elétricos são aplicados em uma determinada sequência nos terminais deste. A velocidade que o rotor gira é dada pela frequência de pulsos recebidos e o tamanho do ângulo rotacionado é diretamente relacionado com o número de pulsos aplicados.

Um motor de passo, Figura 5, pode ser uma boa escolha sempre que movimentos precisos são necessários. Eles podem ser usados em aplicações onde é necessário controlar vários fatores, tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo.

Para um concentrador parabólico com rastreamento automático, é necessário levar em consideração a importância da precisão da posição que ele ficará, assim como a questão do peso do coletor, pois o torque necessário para que o motor não escorregue ou tenha muito ruído deve ser analisado.

Figura 5: Motor de Passo com redução



Fonte: Neoyama, 2016

3. Materiais e Métodos

Este projeto apresenta a comparação entre dois coletores com rastreamento manual com a intenção de obter um modelo ótimo; também se buscou o desenvolvimento de um sistema de rastreamento automatizado de baixo custo. Para todas as partes do projeto, foram utilizados concentradores parabólicos já existentes no Laboratório de Energia Solar e Gás Natural (LESGN).

Além de desenvolver o sistema de rastreamento buscou-se aperfeiçoá-lo por meio de testes comparativos entre um coletor com rastreamento manual e o outro com rastreamento automático.

A automatização foi feita utilizando microcontrolador Arduino, 2 LDRS, para diferenciar a intensidade da luz incidente sobre o concentrador e um motor de passo para movimentar o concentrador.

3.1. Primeira fase – Concentradores com Rastreamento Manual

Na primeira fase do projeto os dois concentradores encontravam-se com o rastreamento manual. Com o objetivo de otimizar o sistema manual foram feitos 2 tipos de testes, o primeiro analisando o melhor arranjo entre os concentradores, e o segundo analisando o melhor intervalo de tempo para o rastreamento para esses testes acontecerem.

3.1.1.1º teste: Melhor arranjo para o Concentrador Parabólico.

- a) 2 concentradores Parabólicos
- b) Plástico para coletor Solar
- c) Tubo de Vidro
- d) Proveta Graduada
- e) Cronômetro
- f) Datalogger
- g) 4 termopares tipo K

O primeiro teste foi feito em agosto durante dois dias, ele ocorreu com os dois coletores com rastreamento manual, Figura 7, com o objetivo de obter o melhor arranjo para o Concentrador Parabólico. O Coletor 1 ficou com tubo de vidro em volta do tubo absorvedor e o Coletor 2 foi envolvido por plástico, como é possível ver na Figura 6. Buscou-se manter as vazões de saída dos dois coletores em valores próximos, para não existir uma interferência significativa na temperatura alcançada.

Figura 6: Concentrador com plástico.



Fonte: Próprio autor

Figura 7: Concentrador com Tubo de Vidro e concentrador com plástico



Fonte: Próprio Autor

3.1.2 2º Teste: Melhor intervalo de tempo para rastreamento manual.

- a) 1 Proveta Graduada
- b) 2 Tubos de Vidro
- c) Cronômetro
- d) 2 Concentradores Parabólicos
- e) Datalogger
- f) 4 termopares tipo K

O 2º teste foi feito em dezembro, por dois dias, comparando o rastreamento manual dos dois coletores para intervalos de tempo diferentes. Os dois concentradores estavam com tubo de vidro, por ter se mostrado o melhor arranjo, e o único elemento que diferenciava os dois coletores nesse caso foi que o Coletor 1 era alterado a cada 15 minutos e o Coletor 2 a cada 30 minutos. Para que a vazão não fosse uma variável tão influente na temperatura, tentou-se aproximar as vazões de saída dos dois concentradores ao longo dos dias de coleta de dados.

3.2. Segunda Fase: Concentrador 1 com rastreamento automático e Concentrador 2 com rastreamento manual.

Figura 8: Concentradores para a segunda fase



Fonte: Próprio Autor

Na segunda fase do projeto foi feito um comparativo entre um concentrador com rastreamento manual e outro coletor com rastreamento automático. A Figura 8 mostra como os coletores se encontravam na segunda fase de teste, os dois com tubo de vidro, sendo o Coletor 2 com o mesmo rastreamento da primeira fase, ou seja, manual e o Coletor 1 com a automatização.

Durante esta fase objetivou-se analisar a melhoria na eficiência do sistema por causa da automatização, assim como fazer uma análise do melhor intervalo de tempo para o sistema automatizado e ainda compará-lo ao sistema manual, analisando a viabilidade do coletor manual para intervalos de tempo menores.

Antes dos testes começarem, foi necessário calcular o torque exigido pelos concentradores para saber qual motor deveria ser adquirido. Como os coletores já estavam no LESGN e não havia dados suficientes para calcular o torque teoricamente, ele foi medido através de testes, colocando pesos de ferro nos concentradores até eles se movimentarem. Sabendo o peso necessário para que eles saíssem do repouso, o torque foi calculado no valor de 70Kgf. Por ser um modelo de estimativa e buscando garantir a eficiência do sistema, o motor escolhido tem torque de 200Kgf.

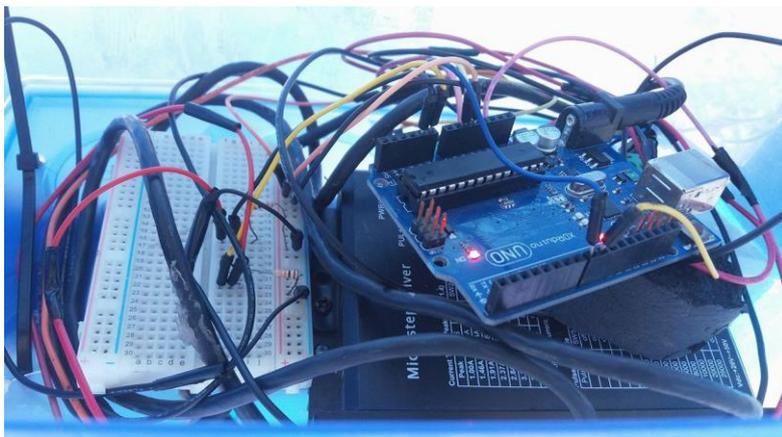
O programa utilizado para a automatização foi desenvolvido na Plataforma IDE do Arduino 1.6.7, sendo a linguagem utilizada baseada em C/C++. O programa completo encontra-se no Apêndice 1, no final do trabalho.

O programa segue a seguinte lógica: no intervalo de tempo definido, o motor de passo gira de acordo com o que os LDRs recebem de luminosidade. Se o valor que o LDR recebe for menor do que o valor da diferença fixado no programa, o concentrador vai ajustar o número de passos equivalentes para a esquerda; se o valor que o LDR recebe for maior do que o valor da diferença fixado no programa, o concentrador vai ajustar o número de passos equivalentes para a direita.

Com motor definido e instalado e o programa feito e instalado no microcontrolador, figura 9, sabendo que o arranjo a ser utilizado foi com tubo de vidro e que o intervalo de tempo mínimo foi de 15 minutos, seguiu-se para os testes. O material da segunda fase se manteve o mesmo em todos os testes e foi o seguinte:

- a) 1 Proveta Graduada
- b) 2 Tubos de Vidro
- c) Cronômetro
- d) 2 Concentradores Parabólicos
- e) Datalogger
- f) 4 termopares tipo K
- g) 2 LDR
- h) 1 Arduino UNO
- i) 1 Motor de Passo
- j) 1 Driver para o Motor de Passo
- k) 1 Protoboard
- l) Resistores
- m) Fonte de Alimentação 24V
- n) Fios

Figura 9: Parte eletrônica do sistema



Fonte: Próprio autor

3.2.1.1º Teste: Concentradores com rastreamento a cada 15 minutos.

O 1º teste da segunda fase foi feito no mês de dezembro durante 2 dias, com o Coletor 1 com rastreamento programado e o Coletor 2 com rastreamento manual, tendo mudança na posição de rastreamento a cada 15 minutos. Esse teste foi feito para comparar as eficiências dos dois sistemas, manual e automático, logo todos os outros fatores, como arranjo e intervalo de tempo foram os mesmos para os dois coletores. Assim como na primeira fase de testes, buscou-se em todos os testes da segunda fase manter as vazões de saída com valores aproximados.

3.2.2.2º Teste: Concentradores com intervalos de tempo diferentes.

O 2º teste da segunda fase também foi feito durante o mês de dezembro por 2 dias. O objetivo desse teste foi comparar o menor intervalo de tempo viável para o rastreamento manual com o menor intervalo de tempo viável que pode ser obtido para o rastreamento automático. Dessa forma, o Coletor 1 teve o rastreamento programado para ocorrer a cada 5 minutos e o Coletor 2 continuou a funcionar com rastreamento manual a cada 15 minutos.

4.Resultados e Discussão

O funcionamento dos concentradores deu-se por meio da análise da temperatura, em cada coletor dois termopares foram utilizados, um na entrada e o outro na saída do tubo absorvedor.

Para cada teste feito os valores da temperatura foram armazenados em cartão de memória e os valores das vazões foram anotados.

4.1.Análise dos dados: Primeira fase – Concentradores com Rastreamento Manual.

O primeiro teste da primeira fase aconteceu em agosto, nos dias 3 e 5, durante o dia inteiro. O dia 03 foi ensolarado e com poucas nuvens, já o dia 05 foi um dia com muitas nuvens, influenciando diretamente nas temperaturas alcançadas. O segundo teste aconteceu em dezembro, nos dias 7 e 9, durante o dia inteiro. O dia 7 foi um dia nublado enquanto o dia 9 foi ensolarado com poucas nuvens ao longo do dia.

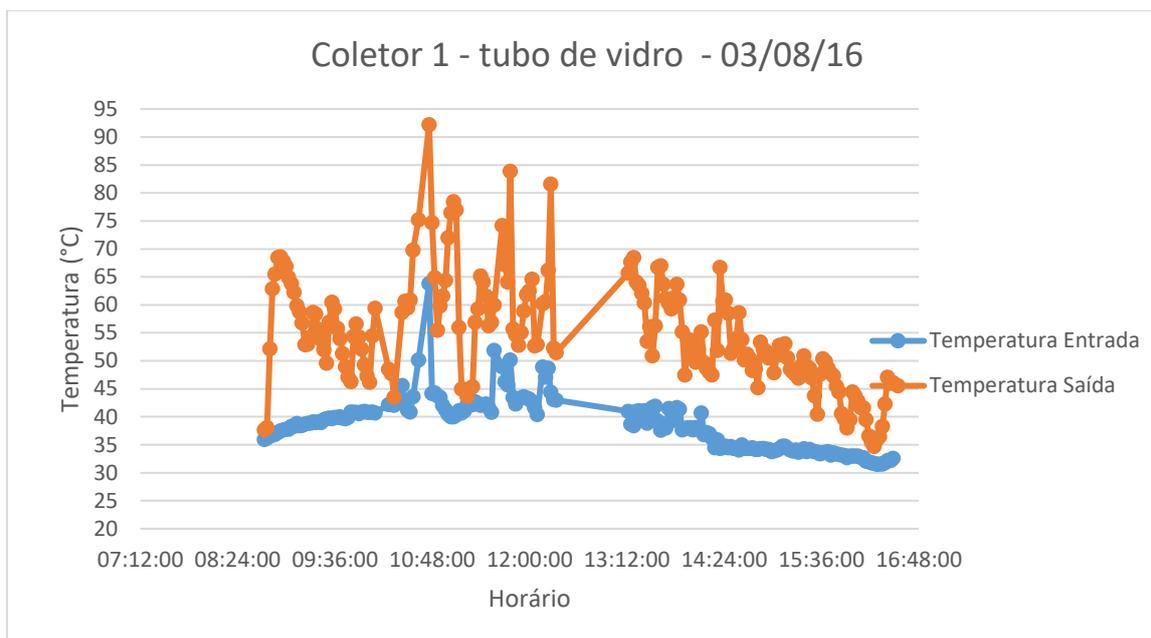
4.1.1.1º teste: Melhor arranjo para o Concentrador Parabólico.

O primeiro teste foi dividido em dois dias, onde comparou-se o melhor arranjo para o Concentrador Parabólico, sendo o Coletor 1 com tubo de vidro ao redor do tubo absorvedor e o Coletor 2 com plástico em toda a superfície parabólica.

No dia 3 de agosto a vazão de saída do Coletor 1 ficou entre 36 ml/min e 39 ml/min e a vazão do Coletor 2 ficou entre 39ml/min e 42ml/min. Não foi possível manter os valores das vazões constantes e iguais por causa da variação do fornecimento de água vinda da rede.

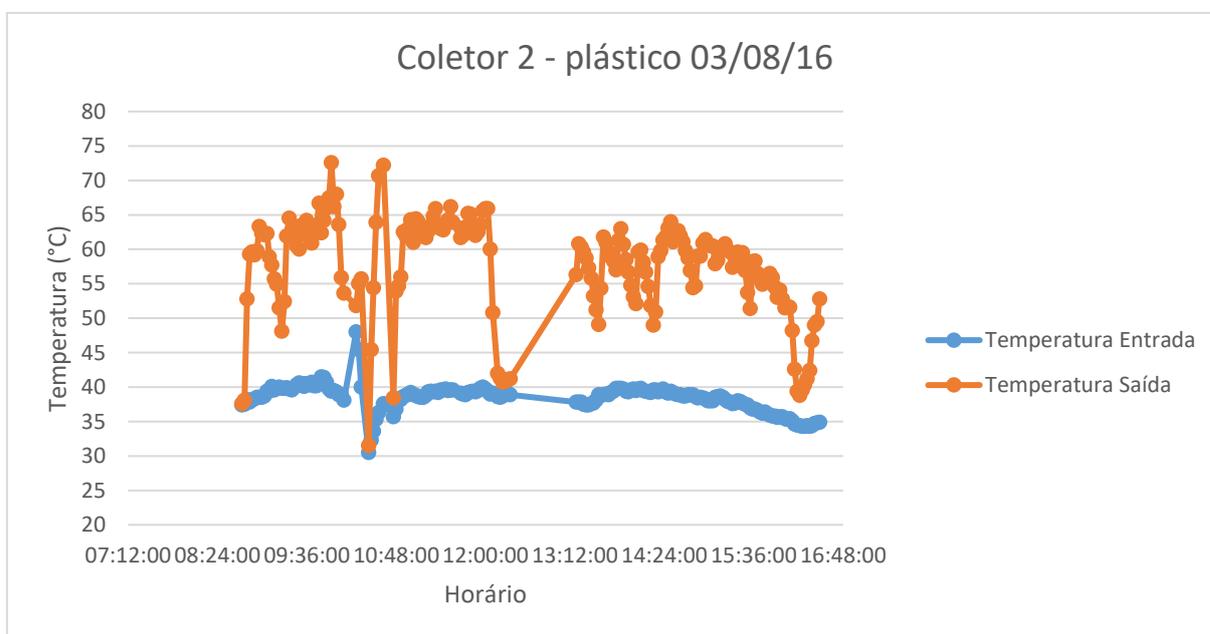
Os resultados de temperatura obtidos estão apresentados nas figuras 10 e 11:

Figura 10: Resultados de temperatura teste 1 – Coletor 1 – 1º dia



Fonte: Próprio Autor

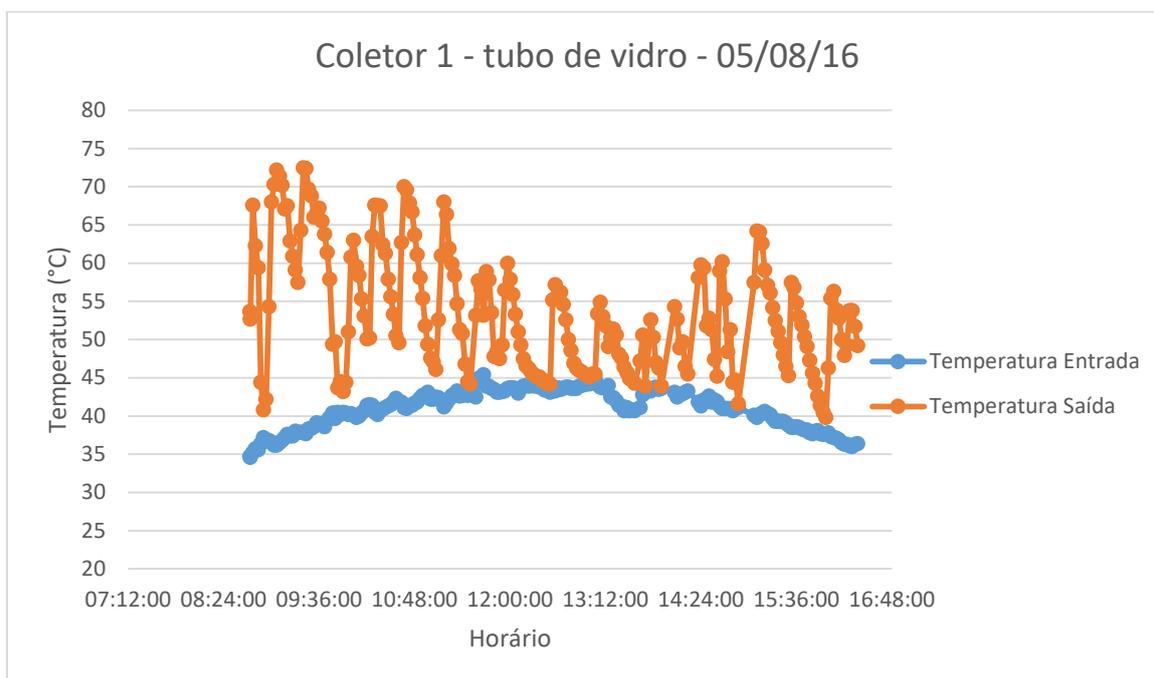
Figura 11: Resultados de temperatura teste 1 – Coletor 2 – 1º dia



Fonte: Próprio Autor

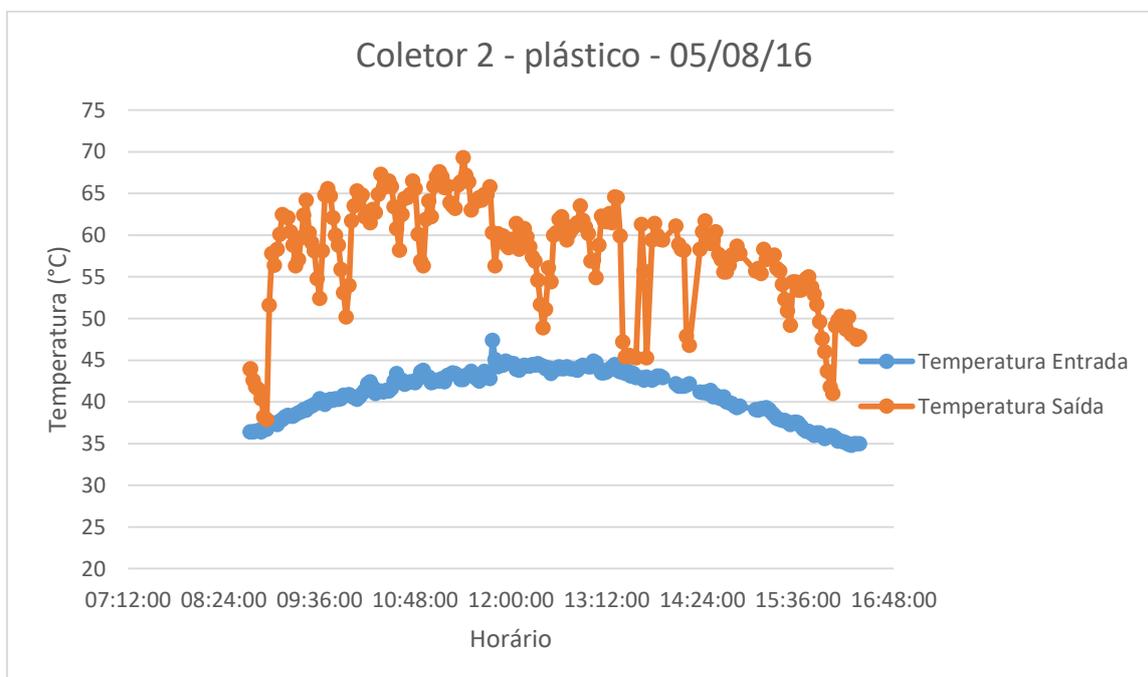
No segundo dia do 1º teste, dia 05 de agosto de 2016, as vazões de saída dos dois coletores variaram entre 40ml/min e 50ml/min ao longo do dia, mas não variaram entre eles. E os resultados de temperaturas obtidos estão nas figuras 12 e 13.

Figura 12 - Resultados de temperatura teste 1 – Coletor 1 – 2º dia



Fonte: Próprio Autor

Figura 13 - Resultados de temperatura teste 1 – Coletor 2 – 2º dia



Fonte: Próprio Autor

Após analisar os dois dias de testes, por meio dos gráficos apresentados, nas figuras 12 e 13, e comparar as temperaturas alcançadas pelos dois coletores com arranjos diferentes, claramente percebe-se que o Coletor 1 possui as temperaturas de saída mais altas que as do Coletor 2. Na Tabela 2 observa-se as temperaturas mais altas de saída dos dois coletores nos dois dias de teste:

Tabela 2: Valores máximos de temperatura, comparando Coletor 1 e Coletor 2 no mesmo horário com a mesma vazão, para teste da primeira fase.

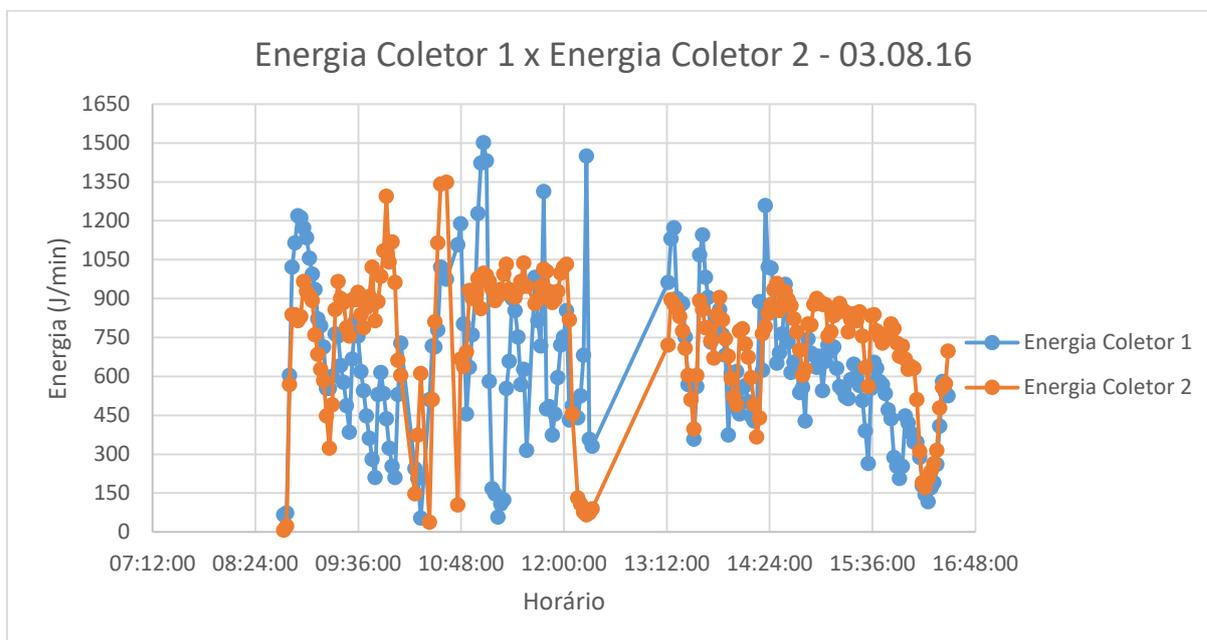
Maior Temperatura °C		
	03/08	05/08
Coletor 1	83,9	72,4
Coletor 2	65,2	64,2

Fonte: Próprio Autor

A variação de temperatura de um dia para o outro deve-se à quantidade de nuvens, diminuindo a temperatura no segundo dia. Outro fator foi a variação de vazão que foi maior no dia 05.08.

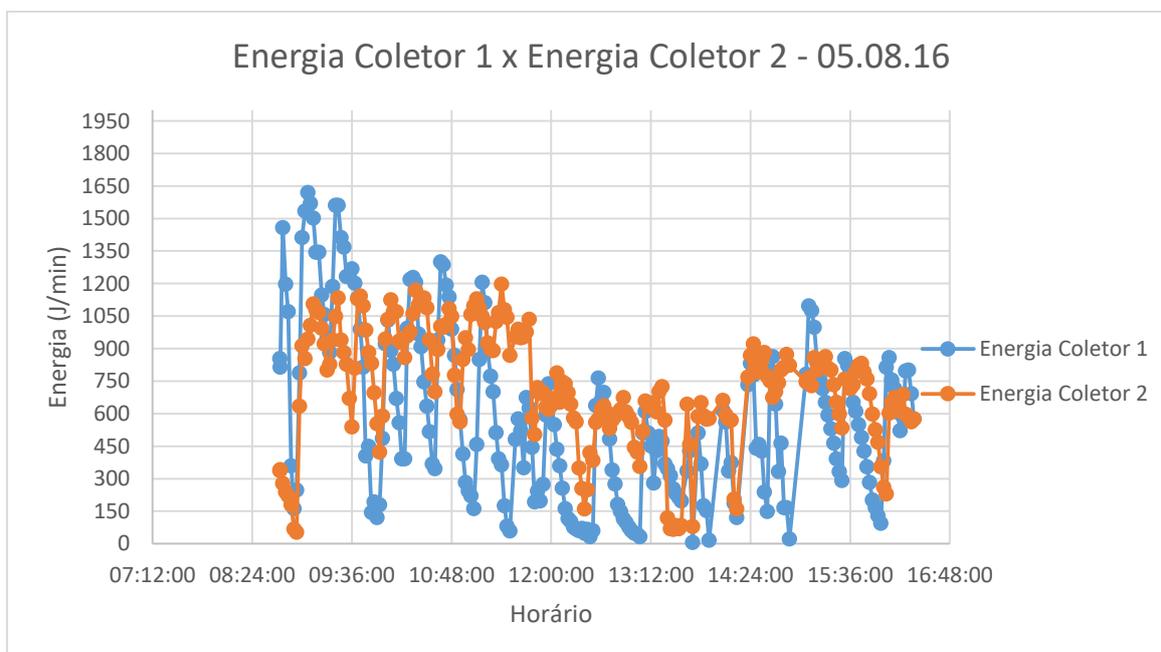
Para ter mais parâmetros para uma conclusão definitiva, resolveu-se analisar a energia obtida, por meio da equação de energia $MCp\Delta T$, com unidade de energia em Joule/minuto. As figuras 14 e 15 apresentam os gráficos comparativos de Energia do Coletor 1 x Energia do Coletor 2 nos dois dias de teste.

Figura 14: Gráfico comparativo entre a captação de energia do Coletor 1 e a captação de energia do Coletor 2 para o dia 03/08/2016.



Fonte: Próprio Autor

Figura 15: Gráfico comparativo entre a captação de energia do Coletor 1 e a captação de energia do Coletor 2 para o dia 05/08/2016.



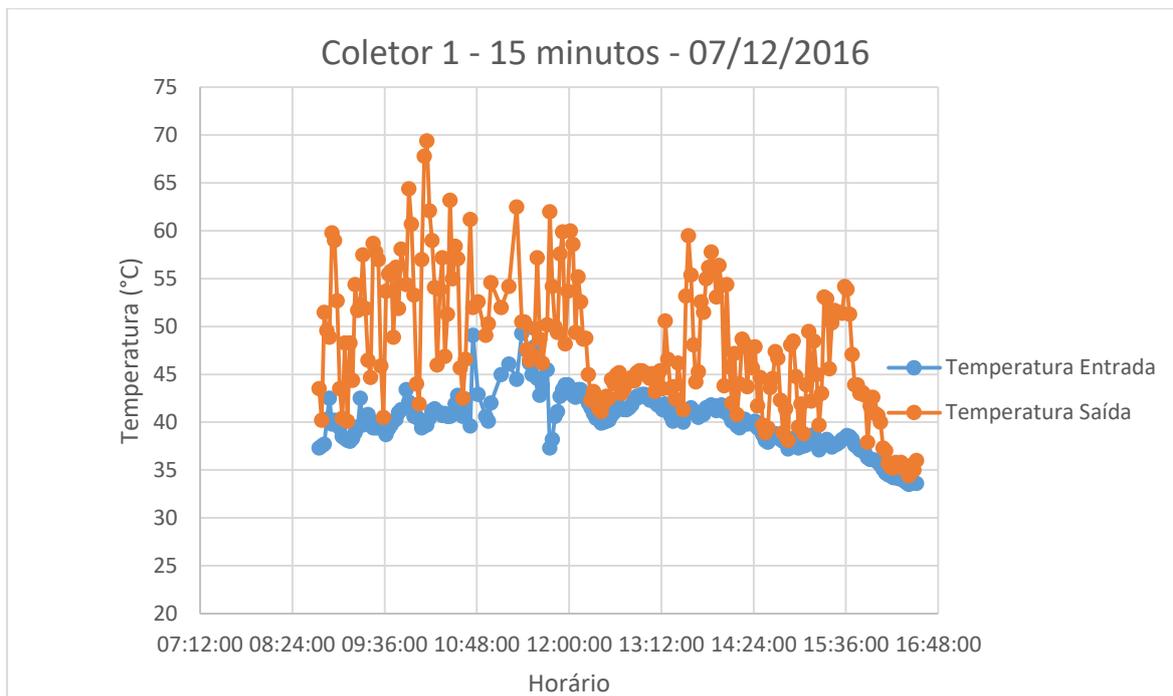
Fonte: Próprio Autor

Após observar os gráficos de Energia, ficou claro que apesar de não obter maior captação de energia o tempo inteiro, o Coletor 1, ou seja, o tubo de vidro obteve maior captação de energia na maior parte do tempo quando comparado ao Coletor 2, sendo assim o arranjo que obteve maiores temperaturas foi com tubo de vidro. Acredita-se que isso ocorreu porque com o plástico o ar isolado conseguia perder calor pela parte metálica, enquanto o vidro isolou melhor o tubo absorvedor. Após chegar ao melhor arranjo, resolveu-se utilizá-lo para analisar o intervalo de tempo mais viável para o rastreamento manual.

4.1.2.2º teste: Melhor intervalo de tempo para rastreamento manual

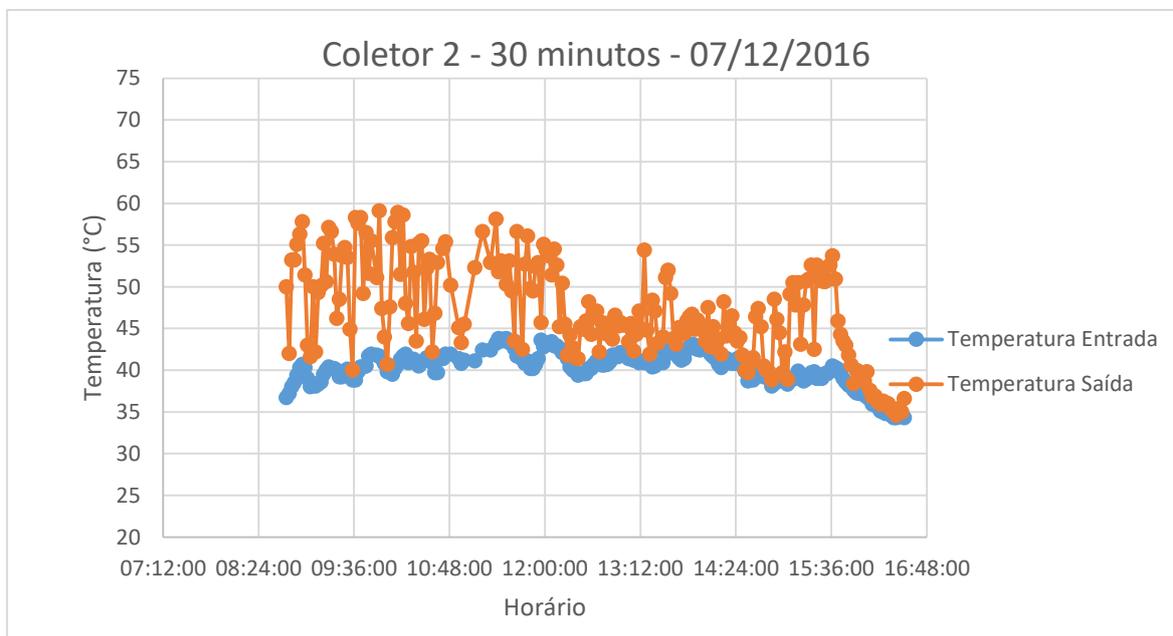
O segundo teste foi dividido em dois dias, assim como foi o primeiro teste. O objetivo do segundo teste foi identificar o melhor intervalo de tempo viável para o rastreamento manual, sendo assim os dois coletores que já estavam com o tubo de vidro, considerado o melhor arranjo, foram testados da seguinte forma: o Coletor 1 era movido em um intervalo de tempo de 15 minutos, enquanto o Coletor 2 foi movido a cada 30 minutos. Para diminuir qualquer diferença existente entre os coletores, as vazões dos mesmos foram mantidas em 60ml/min nos dois dias do segundo teste. Como no primeiro teste, as figuras 16, 17, 18 e 19 apresentam os gráficos para análise de temperatura e energia. Por meio deles é possível perceber o intervalo de tempo entre 30 minutos e 15 minutos mais eficiente para o rastreamento.

Figura 16: Resultados de Temperatura, teste 2 – Coletor 1 – 1º dia



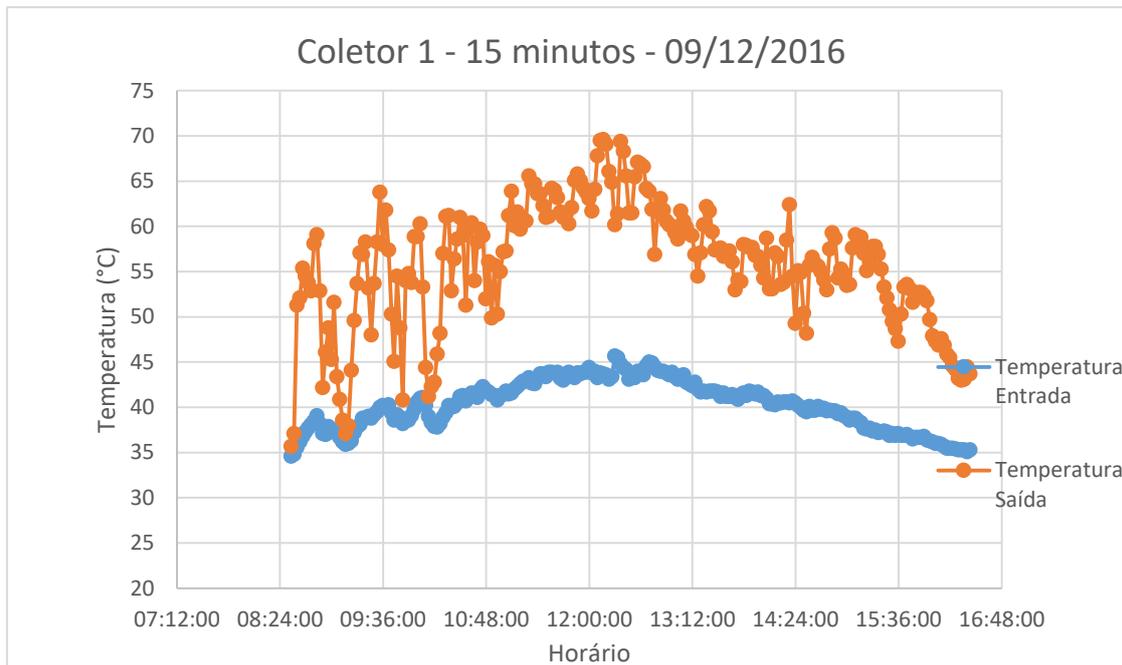
Fonte: Próprio Autor

Figura 17: Resultados de Temperatura, teste 2 – Coletor 2 – 1º dia



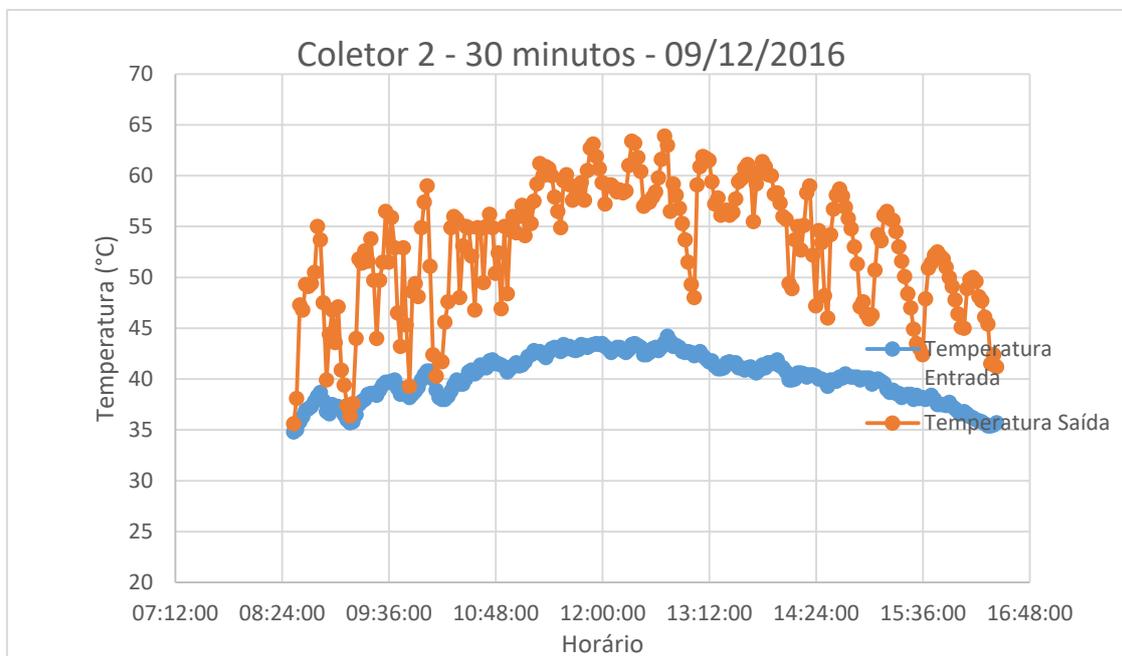
Fonte: Próprio Autor

Figura 18: Resultados de Temperatura, teste 2 – Coletor 1 – 2º dia



Fonte: Próprio Autor

Figura 19: Resultados de Temperatura, teste 2 – Coletor 2 – 2º dia

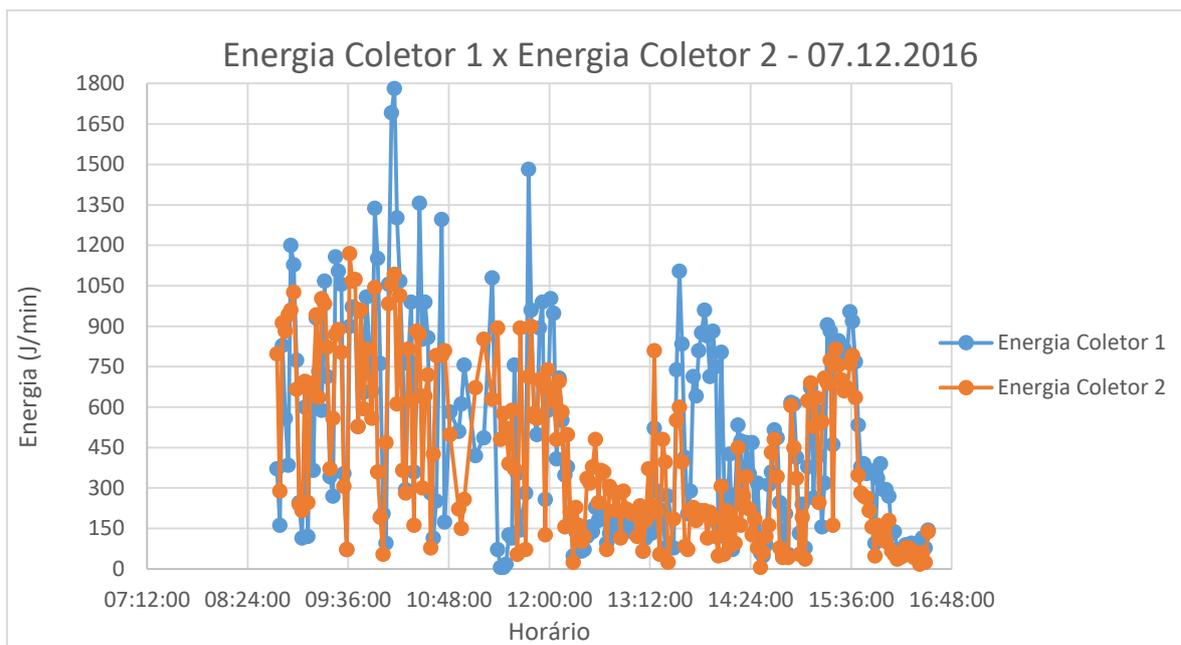


Fonte: Próprio Autor

Ao analisar os gráficos das Figuras 16, 17, 18 e 19, observou-se que nos dois dias o Coletor 1 alcançou temperaturas mais altas que o Coletor 2, o que

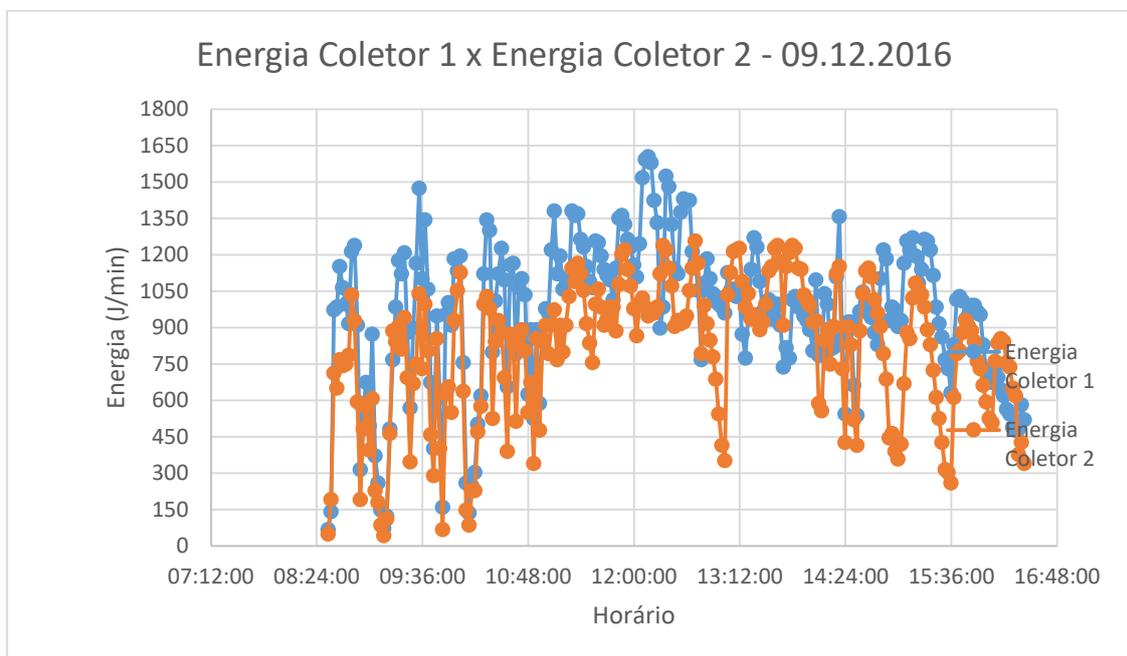
representa uma melhor eficiência do sistema com intervalo de rastreamento a cada 15 minutos. Para confirmar esse resultado, resolveu-se analisar, assim como no primeiro teste, gráficos de captação de energia comparando os dois coletores. Nas Figuras 20 e 21 estão os gráficos de energia dos coletores para os dois dias de teste.

Figura 20: Gráfico comparativo entre a energia captada do Coletor 1 e a energia captada do Coletor 2 para o dia 07/12/2016.



Fonte: Próprio Autor

Figura 21: Gráfico comparativo entre a energia captada do Coletor 1 e a energia captada do Coletor 2 para o dia 09/12/2016.



Fonte: Próprio Autor

Após analisar os gráficos referentes à comparação de captação de energia obtida pelo Coletor 1 e pelo Coletor 2, nos dois dias do segundo teste, ficou nítido que o melhor intervalo de tempo para o rastreamento é a cada 15 minutos, pois assim como nos gráficos de temperatura x tempo, já discutidos, o coletor 1 mostrou-se mais eficiente ao comparar energia x energia.

Após alcançar o melhor arranjo e o melhor intervalo de tempo para concentradores parabólicos manuais, os testes seguiram para a segunda fase, onde após desenvolvimento da programação, compra e ajuste de todos os equipamentos os coletores passaram a ser testados.

4.2. Análise dos dados: Segunda Fase - Concentrador 1 com rastreamento automático e Concentrador 2 com rastreamento manual.

O primeiro teste da segunda fase ocorreu em dois dias de dezembro, nos dias 12 e 15. O primeiro dia foi ensolarado e o teste aconteceu de 08:00 às 16:00 horas, enquanto o segundo dia foi com muitas nuvens e o teste ocorreu entre 8:40 e 13:00 horas.

O segundo teste da segunda fase ocorreu também em dois dias de dezembro, nos dias 26 e 27. No primeiro dia os testes aconteceram de 8:30 até 16:30 e foi um dia com nuvens, porém elas não chegaram a atrapalhar o rastreamento. No segundo dia o teste ocorreu entre 8:00 e 14:00 horas, foi um dia com bastante Sol e sem nuvens.

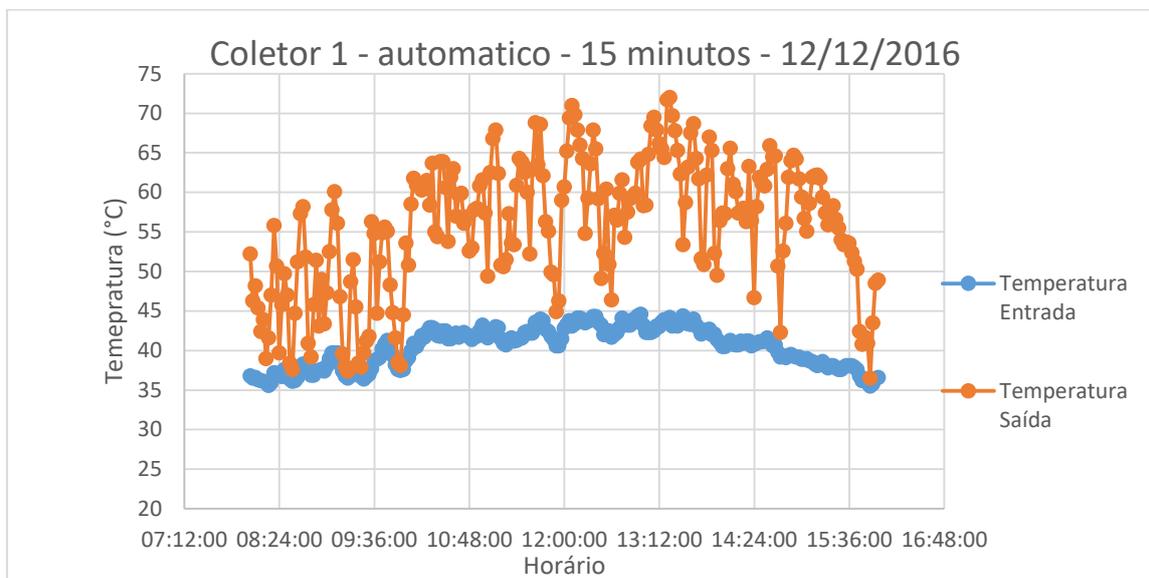
Os dois testes tiveram a vazão mantida em 60ml/min para os dois coletores, com o intuito de não haver discrepância entre os valores por conta da diferença na vazão.

4.2.1.1º teste: Concentradores com rastreamento a cada 15 minutos

O objetivo desse teste foi comparar o rastreamento manual e o rastreamento automático, para isso os concentradores estavam com o mesmo arranjo, a mesma vazão e o mesmo intervalo de tempo. O arranjo e o intervalo de tempo utilizados foram os considerados melhores após a análise dos testes manuais, ou seja, intervalo de rastreamento de 15 minutos e tubo de vidro como melhor arranjo. A única diferença entre os coletores foi a forma de rastreamento, sendo o coletor 1 automatizado e o coletor 2 continuando manual.

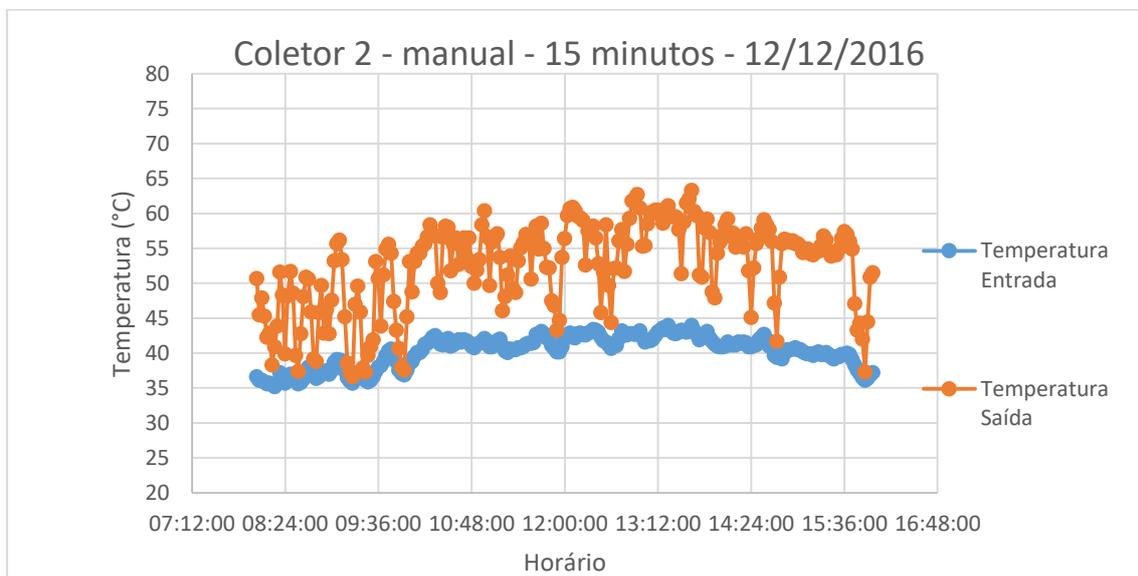
As figuras 22, 23, 24 e 25 trazem os gráficos de medida de temperatura com relação ao tempo dos dois coletores:

Figura 22: Resultado da temperatura, teste 1, Coletor 1 – 1º dia



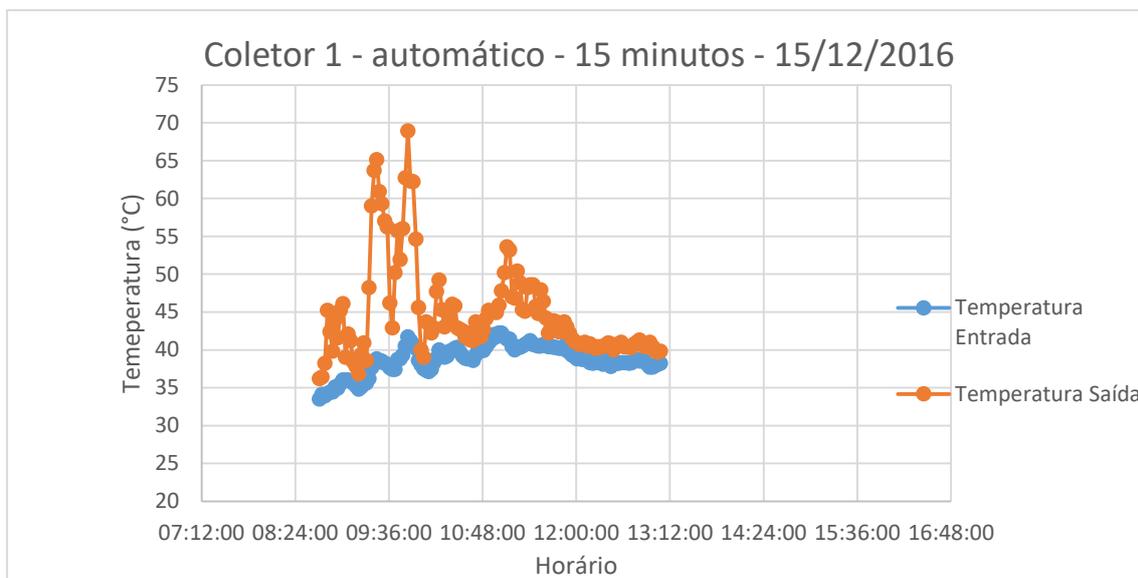
Fonte: Próprio Autor

Figura 23: Resultado da temperatura, teste 1, Coletor 2 – 1º dia



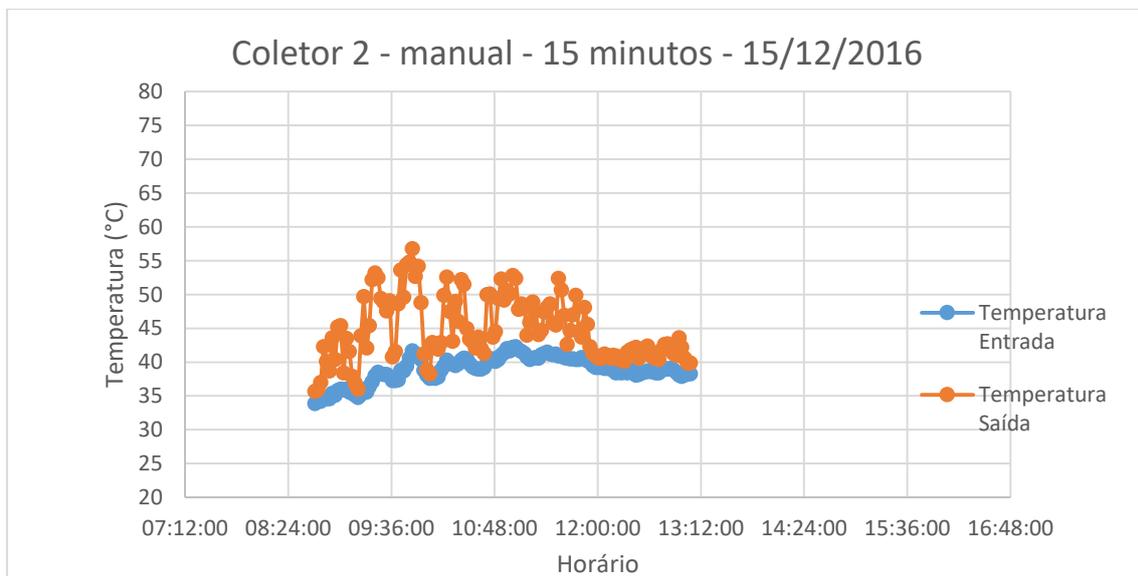
Fonte: Próprio Autor

Figura 24: Resultado da temperatura, teste 1, Coletor 1 – 2º dia



Fonte: Próprio Autor

Figura 25: Resultado da temperatura, teste 1, Coletor 2 – 2º dia



Fonte: Próprio Autor

Tabela 3: Maiores temperaturas alcançadas pelos coletores

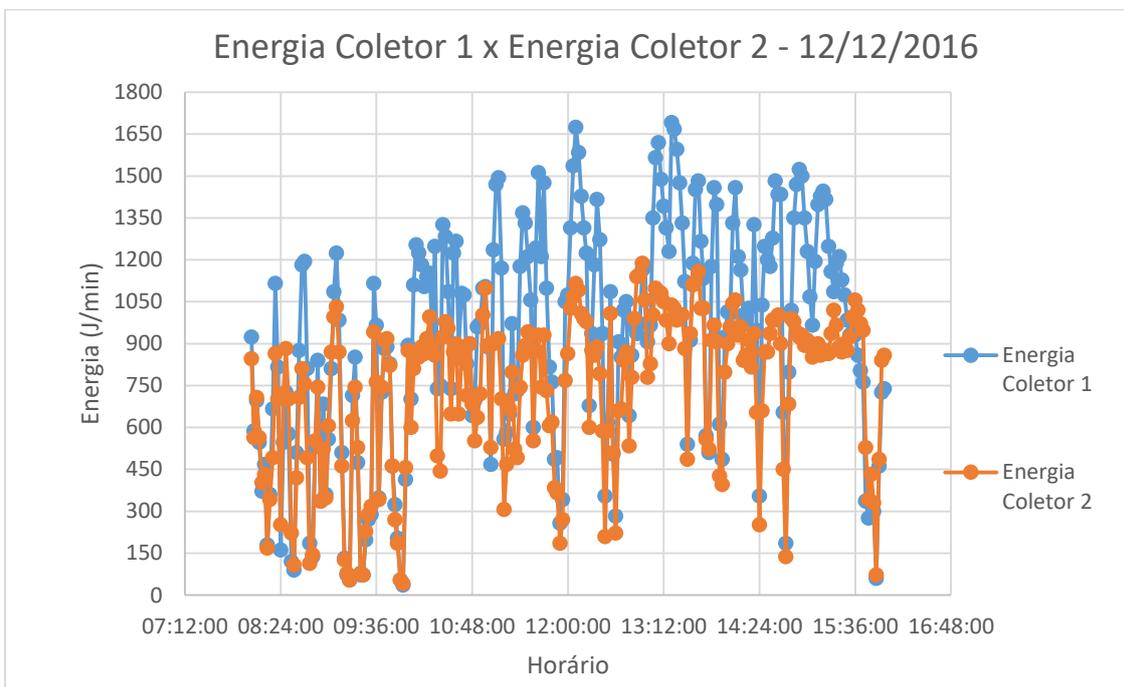
Maior Temperatura (°C)		
	Coletor 1	Coletor 2
1º dia	72	63,3
2º dia	68,9	56,8

Fonte: Próprio Autor

Após estudo dos gráficos de temperatura x tempo dos dois dias do primeiro teste da segunda fase, é possível verificar que o Coletor 1 chegou a temperaturas mais altas que o Coletor 2, o que já era esperado, pois automatizar o coletor o torna mais eficiente por evitar erros humanos. Pela Tabela 3 foi possível perceber que o coletor automático consegue chegar a temperaturas mais altas, e as diferenças nos valores das temperaturas ocorrem porque no segundo dia estava mais nublado.

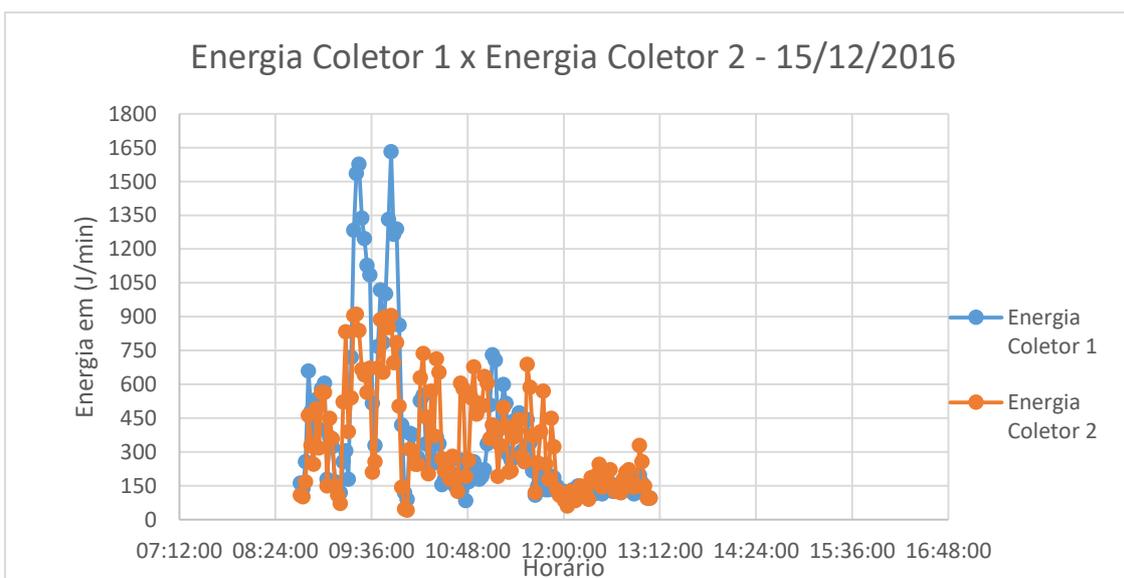
Percebeu-se também que o Coletor 1 em momentos mais nublados teve sua eficiência diminuída, já que o rastreamento automático utiliza sensores de luminosidade e para o tempo com muitas nuvens ele rastreia com dificuldade. Por isso é possível observar que no segundo dia de teste, quando estava muito nublado, o Coletor 2 alcançou temperaturas melhores. Com o intuito de avaliar melhor os dados e ter certeza sobre os resultados obtidos, gráficos de captação de energia comparando o Coletor 1 e o Coletor 2 também foram analisados.

Figura 26: Gráfico comparativo entre a energia captada do Coletor 1 e a energia captada do Coletor 2 para o dia 12/12/2016.



Fonte: Próprio Autor

Figura 27: Gráfico comparativo entre a energia captada do Coletor 1 e a energia captada do Coletor 2 para o dia 15/12/2016.



Fonte: Próprio Autor

Observando as Figuras 26 e 27 é possível perceber que no primeiro dia do teste, quando praticamente não houve nuvens, o Coletor 1 se mostrou mais eficiente que o Coletor 2 na maior parte do tempo. Já no dia 15, a parte da manhã em que estava muito nublado, a eficiência do Coletor 1 caiu consideravelmente. Então faz sentido concluir que existe a necessidade da melhoria do sensor de luminosidade para que ele consiga captar intensidades menores de luz e o rastreamento continue ocorrendo sem falhas.

Analisando a Tabela 4, também é importante perceber que para as mesmas condições e mesmo horário, 13:00 horas, em um dia com sol, a energia do Coletor 1 é muito maior que a energia do Coletor 2 e em um dia com nuvens a Energia captada pelo sistema automatizado se iguala ou fica bem próxima do sistema manual.

Tabela 4: Energia nos dois dias do teste no mesmo horário

Energia dos coletores		
	Coletor 1	Coletor 2
1º dia	906	780
2º dia	114	150

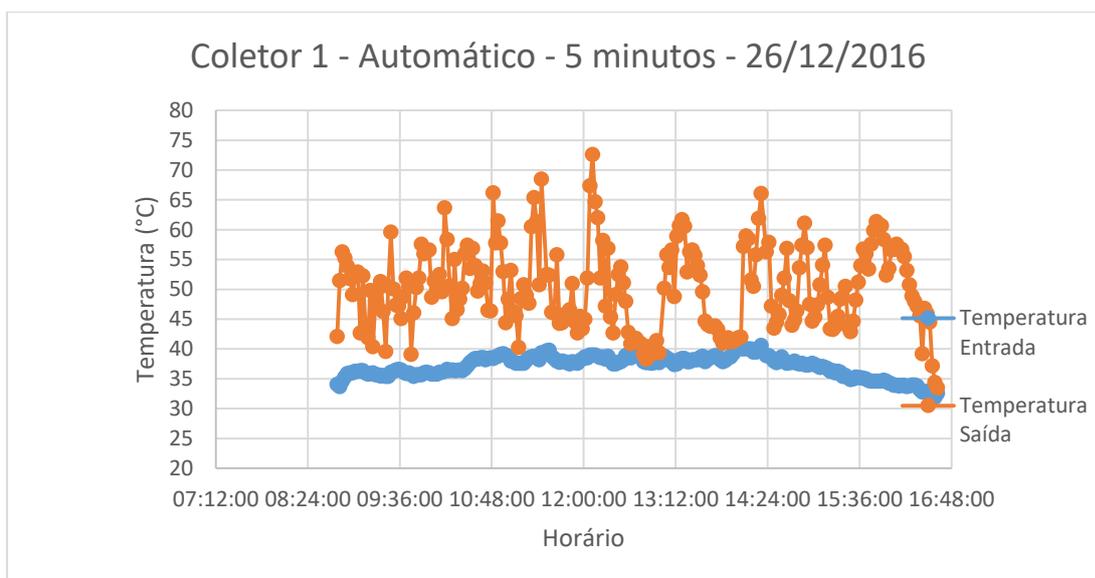
Fonte: Próprio Autor

4.2.2.2º Teste: Concentradores com intervalos de tempo diferentes.

Para finalizar os testes resolveu-se estudar o comportamento do coletor automatizado rastreando em um intervalo de tempo menor que o coletor com rastreamento manual. Com o teste anterior foi possível perceber que o rastreamento automático melhora a eficiência do coletor, contudo não se sabe o intervalo de rastreamento ótimo para o rastreamento automático, portanto resolveu-se testar o Coletor 1, com rastreamento automático a cada 5 minutos e o Coletor 2 continuou com o rastreamento mais viável manualmente, a cada 15 minutos. Esses testes foram feitos nos dias 26 e 27 de dezembro e neles também buscou-se manter a vazão de saída dos dois coletores em 60ml/min. Além disso, os dois também estavam com o mesmo arranjo, tubo de vidro ao redor do tubo absorvedor.

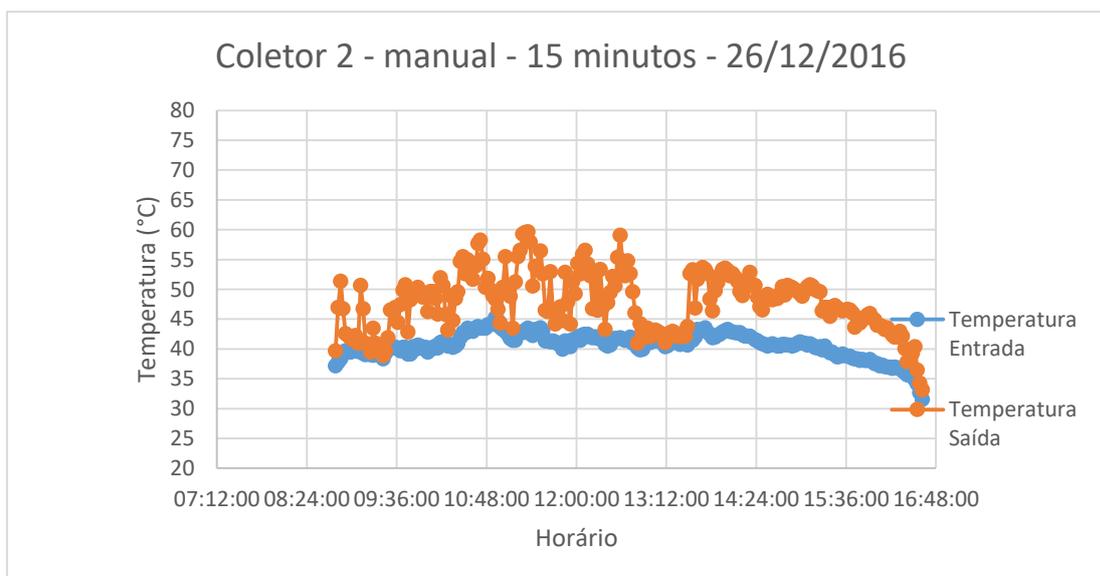
Para ser possível analisar o teste, gráficos de temperatura x tempo dos dois coletores, as figuras 30, 31, 32 e 33 são comparadas com os gráficos de temperatura x tempo do teste anterior, com o objetivo de analisar a melhoria da eficiência do sistema para um intervalo ainda menor de rastreamento.

Figura 28: Resultado da temperatura, teste 2, Coletor 1 – 1º dia



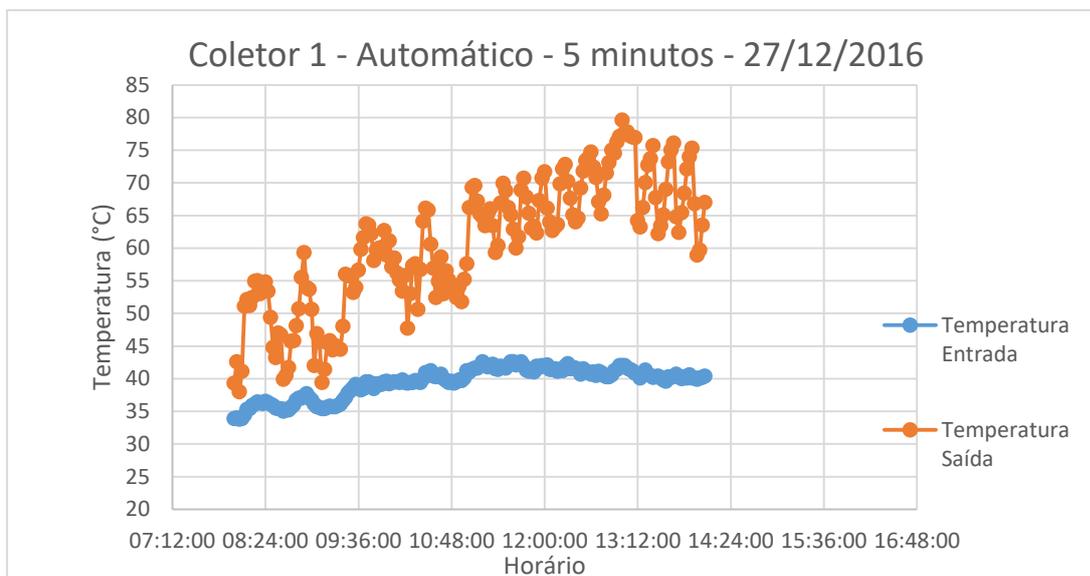
Fonte: Próprio Autor

Figura 29: Resultado da temperatura, teste 2, Coletor 2 – 1º dia



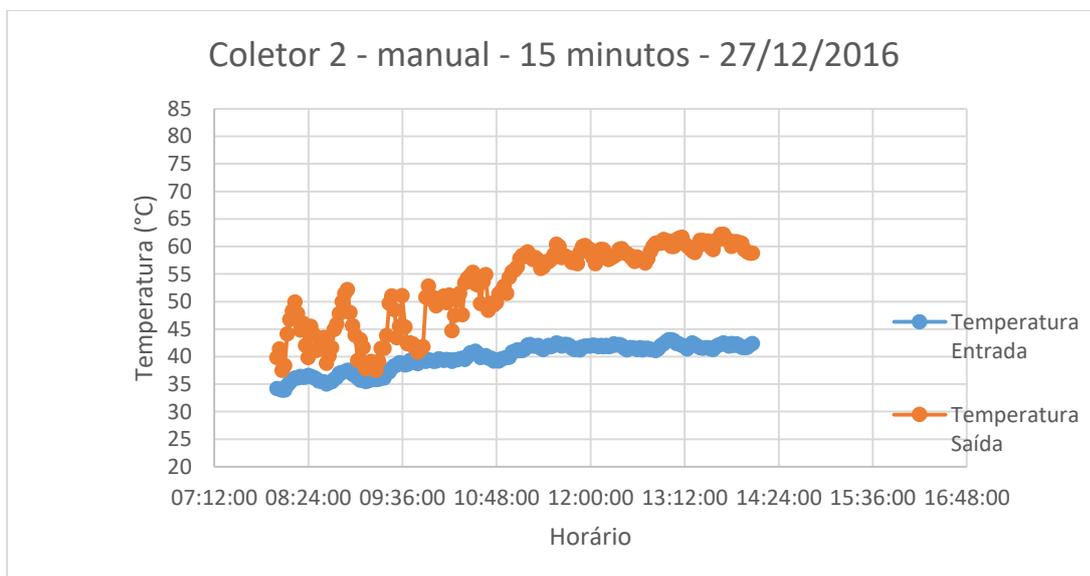
Fonte: Próprio Autor

Figura 30: Resultado da temperatura, teste 2, Coletor 1 – 2º dia



Fonte: Próprio Autor

Figura 31: Resultado da temperatura, teste 2, Coletor 2 – 2º dia



Fonte: Próprio Autor

Os gráficos de temperatura do primeiro dia mostram que o Coletor 1 se comportou como esperado, alcançando temperaturas mais altas durante o dia e tendo a máxima em 72,6°C, enquanto a máxima do Coletor 2 foi 59,7°C.

Percebeu-se que no segundo dia do segundo teste o Coletor 1 alcançou temperaturas muito mais altas ao longo do dia do que o Coletor 2, como já era

esperado, já que além de ter sido um dia com muito Sol, o intervalo de tempo menor para rastreamento deixa ele sempre no foco. Isso aumenta o aquecimento pois, enquanto o primeiro alcançou a temperatura de 79,6°C o segundo teve sua máxima em 62,2°C.

Comparando ainda o comportamento do Coletor 1 com intervalo de rastreamento de 15 minutos para o mesmo coletor com intervalo de 5 minutos, percebe-se que ele atingiu temperaturas mais altas, como é apresentado na Tabela 5.

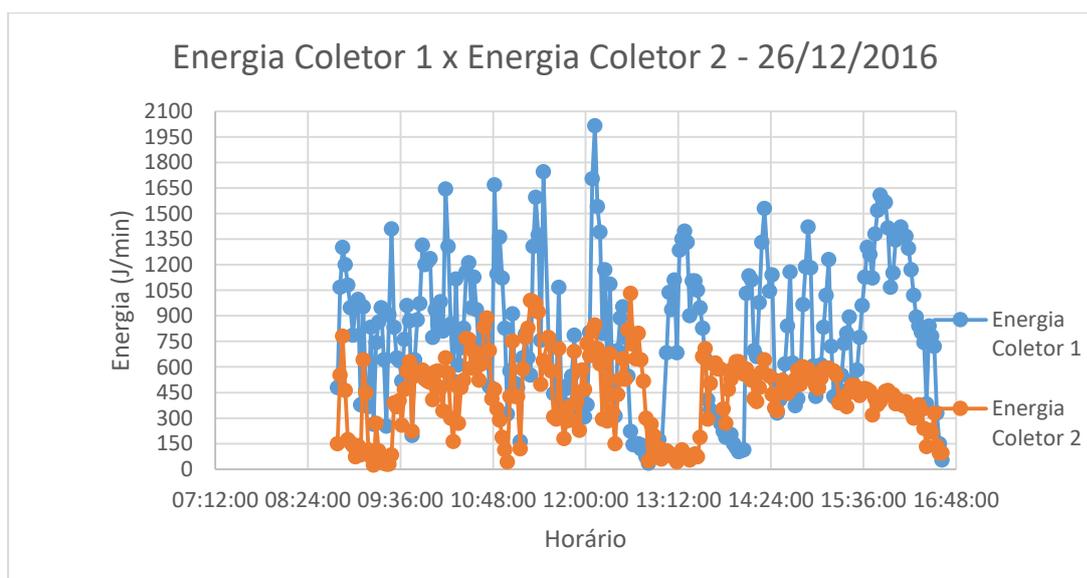
Tabela 5: Tabela Comparativa para intervalo de 15 minutos e intervalo de 5 minutos do Coletor 1 com rastreamento automático.

Tabela Comparativa Coletor 1 para temperatura mais alta		
15 min	5 min	Otimização
72°C	79,6°C	10,55%

Fonte: Próprio Autor

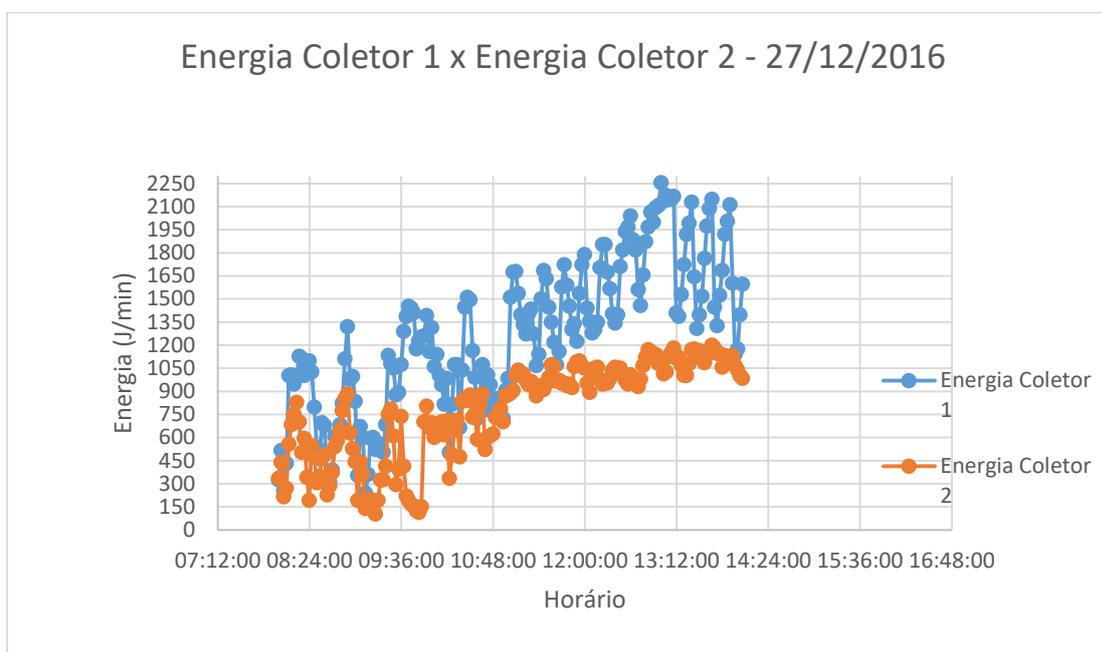
Para não haver dúvidas sobre os resultados alcançados, gráficos que comparam a captação de energia dos dois coletores também foram apresentados nas figuras 34 e 35 e foram analisados.

Figura 32: Gráfico comparativo entre a energia captada do Coletor 1 e a energia captada do Coletor 2 para o dia 26/12/2016.



Fonte: Próprio Autor

Figura 33: Gráfico comparativo entre a energia captada do Coletor 1 e a energia captada do Coletor 2 para o dia 27/12/2016.



Fonte: Próprio Autor

O gráfico de energia do primeiro dia apresenta o Coletor 1 melhor que o Coletor 2. A máxima energia captada no coletor com rastreamento manual foi 1200 J/min, enquanto o coletor com rastreamento automático alcançou 2016 J/min, mesmo tendo nuvens.

O gráfico de captação de energia para o segundo dia do segundo teste mostrou que o Coletor 1 é mais eficiente que o Coletor 2 ao longo do dia inteiro, e com picos bem maiores que os picos do Coletor 2. O valor máximo de energia obtido no segundo foi de 1200 J/min, assim como no primeiro dia, enquanto no primeiro concentrador foi 2256 J/min. Isso se deve ao fato do intervalo de rastreamento ser bem menor para o Coletor 1.

Analisando os dados e comparando com o intervalo de 15 minutos do rastreamento automático feito no primeiro teste da segunda fase, é possível perceber que rastrear a cada 5 minutos é uma excelente otimização. A máxima quantidade de energia para o rastreamento de 15 minutos automatizado foi 1692 J/min, enquanto para o intervalo de 5 minutos chegou-se a 2256 J/min., indicando uma melhoria de 33% em relação a energia obtida pelo mesmo coletor. Ficou claro que diminuir o intervalo de tempo do rastreamento automatizado é o melhor caminho.

5. Conclusão

Pela análise dos resultados pode se concluir que os coletores com rastreamento manual foram otimizados e chegou-se ao melhor modelo, tanto dos coletores quanto da forma de rastreamento, usando tubo de vidro ao redor do tubo absorvedor e rastreamento com intervalo de 15 minutos.

O sistema eletrônico de rastreamento também foi desenvolvido e acoplado ao coletor. A partir dele foi possível fazer os testes comparativos e obter a melhoria da eficiência do concentrador. O primeiro teste da segunda fase mostrou que o coletor simplesmente por ser automatizado, com todos os parâmetros iguais ao coletor manual, alcançou temperatura de 72°C, enquanto o manual teve a temperatura mais alta com 63,3°C. Ao diminuir o intervalo de tempo do rastreamento automático, a temperatura alcançada foi de 79,6°C, enquanto o manual teve a sua máxima em 62,2°C.

Diminuir o intervalo de tempo de rastreamento ao automatizá-lo mostrou produzir uma significativa melhoria, pois a energia obtida pelo coletor teve um aumento de 33% em relação ao primeiro teste com rastreamento automático. Com esse resultado fica provado que é viável diminuir o intervalo de tempo para rastreamento automático.

Também é importante salientar que para dia com chuva ou muito nublado o rastreamento automático se mostra menos eficiente, por não conseguir captar níveis baixos de intensidade de luz. É aconselhável que o sistema seja melhorado dentro da programação, aumentando o intervalo de sensibilidade do LDR e, se não for suficiente, substituí-lo por outro sensor de luminosidade que capte melhor a intensidade da luz.

Referências

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. 2ª edição. Madison: John Wiley e Sons, Inc. 2013

BANZI, M.; CANDUCCI, E.; WALLACE, S. Primeiros Passos com o Arduino. 1ª edição. São Paulo: Ed Novatec, 2011.

KALOGIROU, S. Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters. Solar Energy, 2009.

SOUSA, E. Dissertação: Desenvolvimento de um sistema de controle de baixo custo para rastreamento de concentradores cilíndrico-parabólicos. Fortaleza, 2009.

ELETROBRAS PROCEL. Energia Solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobras e Parceiros / Luiz Eduardo Menandro de Vasconcellos; Marcos Alexandre Couto Limberger (Organizadores). Rio de Janeiro, 2012.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Energia Solar Princípios e Aplicações. CEPEL – Sistema Eletrobrás, 2006. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>.

FILHO, J. Dissertação: Projeto, construção e levantamento de desempenho de um concentrador solar cilindro parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar. Natal, 2008.

ARDUINO. Wikipédia. 2016. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Arduino>> Acesso em 12 nov. 2016.

LDR. Wikipedia. 2016. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/LDR>> Acesso em 14 nov. 2016.

MOTOR DE PASSO. Wikipédia. 2016. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_passo> Acesso em 14 nov. 2016.

Apêndice 1 – Programa para Arduino utilizado no Rastreamento Solar dos Coletores Parabólicos

```

//Programa para Rastreamento Solar dos Coletores Parabólicos

int valor1,valor2,vmap1,vmap2,contador;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);

  pinMode(8,OUTPUT);//pino de direção
  pinMode(9,OUTPUT);//pino do passo
  digitalWrite(8,HIGH);
  digitalWrite(9,LOW);
}

void loop()
{
  //delay(2000);

  delay(300000); //DELAY DE 5 MINUTOS PARA MOVER 354 PASSOS DO MOTOR

  if(contador<=353)

  { //2125 pulsos = 90° ; 4250 pulsos = 180°; 8500 pulsos = 360° PARA A
  CONFIGURAÇÃO DE 400 PASSOS NO DRIVER 88 PASSOS PARA GIRAR A CADA
  QUINZE MINUTOS

      // COM AS REDUÇÕES O MOTOR PRECISA DAR 354 PASSOS A CADA
  15 MINUTOS PARA OBETER A ANGULAÇÃO CORRETA

      digitalWrite(9,HIGH);

      delayMicroseconds(400);
  }
}

```

```
digitalWrite(9,LOW);
digitalWrite(8,HIGH); //
delayMicroseconds(400);
contador++;
}
contador=0;
valor1 = analogRead(0);
valor2 = analogRead(1);

vmap1 = map(valor1 , 0 ,1000, 255, 0 );
vmap2 = map(valor2 , 0 ,1000, 255, 0 );
Serial.print(valor1);
Serial.print("||");
Serial.print(valor2);
Serial.print("\t");
Serial.print(vmap1);
Serial.print("||");
Serial.println(vmap2);
delay(500)
while((vmap1-vmap2)>5)
{
digitalWrite(8,HIGH);
digitalWrite(9,HIGH); // COM AS REDUÇÕES O MOTOR PRECISA DAR 354
PASSOS A CADA 15 MINUTOS PARA OBETER A ANGULAÇÃO CORRETA
delayMicroseconds(400);
```

```
digitalWrite(9,LOW);
delayMicroseconds(400);

valor1 = analogRead(0);
valor2 = analogRead(1);
vmap1 = map(valor1 , 0 ,1000, 255, 0 );
vmap2 = map(valor2 , 0 ,1000, 255, 0 );
}
while((vmap2-vmap1)>5)
{
digitalWrite(8,LOW);

digitalWrite(9,HIGH); // COM AS REDUÇÕES O MOTOR PRECISA DAR 354
PASSOS A CADA 15 MINUTOS PARA OBETER A ANGULAÇÃO CORRETA

delayMicroseconds(400);
digitalWrite(9,LOW);
delayMicroseconds(400);

valor1 = analogRead(0);
valor2 = analogRead(1);

vmap1 = map(valor1 , 0 ,1000, 255, 0 );
vmap2 = map(valor2 , 0 ,1000, 255, 0 );
}
}
```