

DIOGO RIBEIRO MACIEL

**Estudo de eficiência de estrutura móvel de rastreamento solar com variação de
temperatura e pressão**

Diogo Ribeiro Maciel

Estudo de eficiência de estrutura móvel de rastreamento solar com variação de temperatura e pressão

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis

M152e	Maciel, Diogo Ribeiro Estudo de eficiência de estrutura móvel de rastreamento solar com variação de temperatura e pressão / Diogo Ribeiro Maciel – Guaratinguetá, 2021. 66 f : il. Bibliografia: f. 49-51 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2021. Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Vassiliki Terezinha Galvão Boulomytis 1. Energia Fontes alternativas. 2. Energia solar. 3. Sistemas de energia fotovoltaica. I. Título. CDU 620.91(043)
-------	--

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

DIOGO RIBEIRO MACIEL

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: MESTRADO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador - UNESP
participou por videoconferência


Prof. Dr. JOSE GILBERTO DALFRE FILHO
FEC / UNICAMP
participou por videoconferência


Prof. Dr. JOSE ROBERTO SEVERINO MARTINS JÚNIOR
IFSP Caraguatatuba
participou por videoconferência

Novembro de 2021

DADOS CURRICULARES

DIOGO RIBEIRO MACIEL

NASCIMENTO	02/02/1983 – Cruzeiro / SP
FILIAÇÃO	José Braz Maciel Neto Maria Lúcia Ribeiro Maciel
2019/2021	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Área Energia Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
2020/2021	Curso de Pós-Graduação em Engenharia - Empreendedorismo e Inovação nas Engenharias UNIVESP
2009/2011	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Universidade de Taubaté
2006/2008	Curso de Graduação em Tecnologia Mecânica (Projetos) Faculdades Integradas de Cruzeiro
2000/2001	Curso de Nível Técnico em Eletromecânica ETEC Prof. José Sant’Ana de Castro

Dedico primeiramente a Deus, ao qual sou muito grato por todas as graças e bênçãos que recebo em cada dia de vida. Dedico de modo especial, à minha esposa, minha filha e meu filho, que me apoiaram e são fonte de inspiração em minha vida, para que pudesse realizar esse projeto e tantos outros. Dedico também ao meu Pai e à minha Mãe, que sempre se esforçaram, sacrificaram e se dedicaram muito em todos os âmbitos, para que eu me tornasse a pessoa que sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a DEUS, Senhor da minha vida e da minha história, por ter me guiado e iluminado meus passos em todos os diversos momentos de minha vida, por mais difíceis que para mim parecessem ser.

À minha querida e amada esposa, TIARA, por ter de ser uma grande agente motivadora e apoiadora nesses anos de lutas e conquistas em minha vida.

Aos meus amados filhos MARIA CECÍLIA E MURILO DIOGO, que são verdadeiros presentes de Deus em minha vida.

Agradeço aos meus pais, que sempre me apoiaram e incentivaram os meus estudos, me ajudando de forma incondicional e com muito amor.

Aos meus irmãos, que sempre estão ao meu lado sendo amigos em todos os momentos da minha vida.

Ao Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA, quem antes mesmo de meu orientador, me aceitou como aluno especial, abrindo para mim as portas desta renomada instituição. Também por todo o seu apoio e dedicação, não se limitando a horários e feriados, tornando para mim um exemplo de pesquisador e profissional.

A minha coorientadora Profa. Dra. VASSILIKI TEREZINHA GALVÃO BOULOMYTIS, que me deu todo o suporte e apoio no desenvolvimento da minha dissertação, com uma dedicação ímpar. Compartilhando e transferindo para mim todo o conhecimento para esse projeto.

Ao FELIPE CAVALI, que foi importante nos ensaios práticos com o sistema de rastreamento solar.

Ao Prof. Dr. José Gilberto Dalfré Filho e ao Prof. Dr. José Roberto Severino Martins Júnior, por participar de forma efetiva e dinâmica no processo de qualificação e aprovação da dissertação.

“Muitos são os planos no coração do Homem,
mas é sempre a vontade de Deus que se
realiza. ”

Provérbios 19:20)

RESUMO

A busca por meios de aproveitar a energia da natureza acompanha a humanidade desde os seus primórdios. Nesse sentido, o desenvolvimento de tecnologias para gerar energia passou por diversas etapas, que teve seu pico de aproveitamento energético a partir de fontes não renováveis, com o carvão e posteriormente com o petróleo, a partir dessas etapas surgiu a necessidade do desenvolvimento de novas técnicas de geração de energia. No entanto, com a crescente preocupação sobre o meio ambiente, as tecnologias de captação de energia a partir de fontes renováveis, mostram-se como opções viáveis e necessárias. Esse estudo realizou experimentos a partir da construção de uma estrutura de captação de energia solar com um grau de liberdade, fazendo o rastreamento da posição do sol no decorrer do dia. Foram testadas estruturas adaptadas de forma fixa, móvel e automatizada. Os resultados indicaram aumento que varia de 13% a 26% no aproveitamento da energia solar para a metodologia proposta de rastreamento solar. Esses dados justificam o investimento na automatização da estrutura, transformando o sistema de fixação dos painéis fotovoltaicos fixos em uma estrutura móvel com liberdade para acompanhar os movimentos do sol.

PALAVRAS-CHAVE: Energia renovável. Rastreamento solar. Painel fotovoltaico.

ABSTRACT

The search for ways to harness the energy of nature has accompanied humanity since its beginnings. In this sense, the development of technologies to generate energy went through several stages, which had its peak of energy use from non-renewable sources, with coal and later with oil, from these stages arose the need for the development of new techniques of energy generation. However, with growing concern about the environment, technologies for capturing energy from renewable sources are viable and necessary options. This study carried out experiments based on the construction of a solar energy capture structure with a degree of freedom, tracking the position of the sun throughout the day. Fixed, mobile and automated adapted structures were tested. The results indicated an increase ranging from 13% to 26% in the use of solar energy for the proposed solar tracking methodology. These data justify the investment in the automation of the structure, transforming the fixation system of fixed photovoltaic panels into a mobile structure with freedom to follow the movements of the sun.

KEYWORDS: Renewable energy. Solar tracking. Photovoltaic panel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ângulo zenital	19
Figura 2 - Fluxograma do estudo.....	22
Figura 3 (a) - Localização da área de estudo	23
Figura 3 (b) - Laboratório do Centro de Energias Renováveis.....	23
Figura 4 (a) - Vista da maquete frontal	27
Figura 4 (b) - Vista da maquete lateral	27
Figura 5 - Circuito de instalação pneumática de transmissão de movimentos.....	28
Figura 6 (a) - Inclinação do sistema no período da manhã.....	30
Figura 6 (b) - Estrutura no período da manhã.....	30
Figura 7 (a) - Sistema no intermédio do dia.....	31
Figura 7 (b) - Estrutura em repouso ou posição inicial.....	31
Figura 8 (a) - Inclinação do sistema no período da tarde.....	31
Figura 8 (b) - Estrutura no período da tarde.....	31
Figura 9 (a) - Sistema no final do dia em posição inicial.....	32
Figura 9 (b) - Estrutura em posição de repouso.....	32
Figura 10 - Estrutura base do estudo.....	33
Figura 11 (a) - Tubo para armazenagem do fluido.....	33
Figura 11 (b) - Dois tubos fixados na estrutura.....	33
Figura 12 (a) - Dois tubos pintados de preto fosco.....	34
Figura 12 (b) - Anteparos montados para proteção dos tubos.....	34
Figura 13 (a) - Cilindro com a haste fechada	34
Figura 13 (b) - Cilindro com a haste aberta	34
Figura 14 (a) - Alimentação do sistema	35
Figura 14 (b) - Sistema em repouso	35
Figura 15 - Dados dos experimentos da irradiação na estrutura fixa	42
Figura 16 - Dada dos experimentos da irradiação na estrutura móvel	43
Figura 17 - Dada dos experimentos da temperatura do tubo na estrutura móvel	44
Figura 18 - Dados dos experimentos da velocidade do vento na estrutura móvel	45
Figura 19 - Dados dos experimentos com a estrutura automatizada	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações das peças utilizadas no projeto inicial.....	38
Tabela 2 - Especificação das peças para o projeto opção A	39
Tabela 3 - Especificação das peças para o projeto opção B.....	40

APÊNDICE

Tabela A1 - Dados do experimento 1 - estrutura fixa.....	53
Tabela A2 - Dados do experimento 2 - estrutura fixa.....	53
Tabela A3 - Dados do experimento 3 – estrutura fixa	54
Tabela A4 - Dados do experimento 4 - estrutura fixa.....	54
Tabela A5 - Dados do experimento 5 - estrutura fixa.....	55
Tabela A6 - Dados do experimento 6 - estrutura fixa.....	55
Tabela A7 - Dados do experimento 7 - estrutura fixa.....	56
Tabela A8 - Dados do experimento 8 - estrutura fixa.....	56
Tabela A9 - Dados do experimento 9 - estrutura móvel	57
Tabela A10 - Dados do experimento 10 - estrutura fixa.....	57
Tabela A11 - Dados do experimento 1 - estrutura móvel	58
Tabela A12 - Dados do experimento 2 - estrutura móvel	58
Tabela A13 - Dados do experimento 3 - estrutura móvel	59
Tabela A14 - Dados do experimento 4 - estrutura móvel	59
Tabela A15 - Dados do experimento 5 - estrutura móvel	60
Tabela A16 - Dados do experimento 6 - estrutura móvel	60
Tabela A17 - Dados do experimento 7 - estrutura móvel	61
Tabela A18 - Dados do experimento 8 - estrutura móvel	61
Tabela A19 - Dados do experimento 9 - estrutura fixa.....	62
Tabela A20 - Dados do experimento 10 - estrutura móvel	62
Tabela A21 - Dados do experimento 1 - estrutura automatizada.....	63
Tabela A22 - Dados do experimento 2 - estrutura automatizada.....	63
Tabela A23 - Dados do experimento 3 - estrutura automatizada.....	64
Tabela A24 - Dados do experimento 4 - estrutura automatizada.....	64
Tabela A25 - Dados do experimento 5 - estrutura automatizada.....	65
Tabela A26 - Dados do experimento 6 - estrutura automatizada.....	65
Tabela A27 - Dados do experimento 7 - estrutura automatizada.....	66
Tabela A28 - Dados do experimento 8 - estrutura automatizada.....	66
Tabela A29 - Dados do experimento 7 - estrutura automatizada.....	67
Tabela A30 - Dados do experimento 8 - estrutura automatizada.....	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DE MATRIZES ENERGÉTICAS....	15
3.2	ENERGIA NUCLEAR E ENERGIA EÓLICA.....	16
3.3	ENERGIA SOLAR, CÉLULAS E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	17
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1	FLUXOGRAMA DO ESTUDO.....	21
4.2	ÁREA PARA O ESTUDO E LOCAL DOS EXPERIMENTOS.....	23
4.3	EQUAÇÃO TEÓRICA DO SISTEMA.....	24
4.4	SISTEMA DE CAPTAÇÃO E INSTRUMENTOS.....	25
5	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	27
5.1	DESENVOLVIMENTO DA MAQUETE.....	27
5.2	ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DO CIRCUITO.....	27
6	RESULTADOS.....	30
6.1	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO.....	30
6.2	ESTRUTURA DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO.....	33
6.3	SEGURANÇA PARA O EQUIPAMENTO E PARA O OPERADOR.....	35
6.4	TESTE D FUNCIONAMENTO.....	36
6.5	ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS.....	37
6.6	CONDIÇÕES ADICIONAIS.....	38
6.7	ANÁLISE DA EFICIÊNCIA.....	41
7	CONCLUSÕES.....	47
	REFERÊNCIAS.....	49
	APÊNDICE	52

1 INTRODUÇÃO

Desde a pré-história o ser humano tenta adequar as formas de energias disponíveis para sua comodidade. O desenvolvimento das nações está intimamente ligado à capacidade de captação, beneficiamento e disponibilidade das fontes energéticas para os consumidores. Nos tempos modernos, a crescente evolução tecnológica mostra a necessidade da constante evolução energética (FARIAS; SELITO, 2011). Porém, há grande preocupação com a queima de combustíveis fósseis, danos ao meio ambiente e alterações nos preços. Vicchi e Mansor (2009) citam as preocupações com as necessidades da humanidade, dentre elas: o meio ambiente, a energia e a economia. Nesse sentido, a geração de energia de forma alternativa tem ganhado popularidade e sido motivada em todos os âmbitos, o que permite possibilidades de otimização para as ferramentas e processos que estão em constante transformação e aprimoramento.

As tecnologias relativas ao setor energético atualmente utilizado no Brasil são, em sua maioria, advindas de recurso finito e custoso. Mudanças nesse campo são dependentes de recursos financeiros e requerem longo período de tempo para a execução de novos projetos. É possível, no entanto, vislumbrar o desenvolvimento e a otimização de um sistema autônomo para a geração de energia renovável e limpa, uma vez que durante o processo de geração não existem agentes contaminantes ou agressivos ao meio ambiente. Nesse contexto, a geração de energia a partir da radiação solar tem se tornado uma alternativa interessante, especialmente no Brasil, que apresenta uma radiação solar média acima de 2.500 h/ano, tem como característica o clima tropical e é algo estratégico para nosso país (NASCIMENTO, 2014). Dessa forma, o presente trabalho estudou a viabilidade de realizar e aplicar a automação passiva de um sistema de rastreamento solar. Para tal, foi projetado e testado um sistema de captação de energia solar que permite o acompanhamento da incidência dos raios solares de duas formas diferentes, com a finalidade de aumentar a eficiência do sistema de captação de energia solar, o sistema móvel projetado foi comparado quantitativamente com o sistema convencional de estrutura fixa.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é de analisar a eficiência de um sistema automatizado de captação de energia solar, construído com estrutura móvel de rastreamento solar por meio da variação de temperatura e pressão.

2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o aproveitamento da irradiação solar sobre o sistema móvel.
- b) Avaliar o aproveitamento da irradiação solar sobre o sistema automatizado.
- c) Avaliar a influência do vento sobre a estrutura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico do desenvolvimento de matrizes energéticas

No período paleolítico superior, cerca de 30.000 anos, as principais necessidades do *Homo sapiens* eram de luz e aquecimento (HÉMERY et al., 1993). O ser humano, na condição de animal de hábitos diurnos, apresentava dificuldade em locomover-se durante o período noturno, além de estar exposto às ameaças de animais selvagens e risco de hipotermia. Porém, com o aprendizado da manipulação do fogo, o *Homo sapiens* conseguiu, não só diminuir os riscos já citados, como também promover um melhor convívio social. Ocorreu então, o aumento populacional com consequentes alterações no regime alimentar e melhorias de técnicas de uso de ferramentas (DARWIN, 1974).

Há cerca de seis mil anos, na Mesopotâmia, utilizava-se a energia cinética advinda do curso dos rios, tração animal e lenha, para a cultura irrigada de cereais (CARVALHO, 2014). No Egito foram desenvolvidos carros de combate, carroças agrícolas com a força dos animais, diques e canais para navegação de barcos a vela e remo, além de pequenas máquinas de moagem de grão que utilizavam energia eólica (FARIAS; SELLITO, 2011). Tais acontecimentos nos permitem observar que o desenvolvimento e a hegemonia de uma nação estão intimamente ligados à capacidade de produção promovida pelo uso de energia em diversas formas. Na época, a nação mais influente era aquela que utilizava melhor a energia eólica em suas organizações marítimas, uma vez que esse tipo de energia era a base da navegação desde a idade média até a revolução industrial.

Existem duas escalas temporais bem distintas para o consumo de energia, antes e depois da Revolução Industrial. Antes, as energias utilizadas eram em sua maioria renováveis. Após a Revolução Industrial, a energia passou a ser não renovável e o carvão a ser utilizado como principal fonte de energia (CASTAÑEDA, 2011).

O carvão era uma fonte barata e abundante de energia e possibilitou a invenção de inúmeras máquinas a vapor, entre elas os trens, as embarcações e os maquinários de fábricas. O carvão foi a fonte mais utilizada de energia até 1961, quando foi substituído pelo petróleo (FARIAS; SELLITO, 2011). Desde então, pesquisas sobre novas fontes de energia e técnicas de utilização das mesmas ficaram cada vez mais frequentes.

O petróleo é uma fonte de energia não renovável e rica em hidrocarbonetos por ser derivada de resíduos fosseis. Essa fonte é constituída por uma mistura complexa de hidrocarbonetos com quantidade bastante significativa de isômeros. Além destes, ele também apresenta compostos contendo nitrogênio, oxigênio e enxofre, que dificultam as etapas de extração, isolamento e caracterização dos compostos (CAMPOS; CLEMENT, 2005).

No entanto, os grandes progressos na instrumentação analítica dos últimos anos possibilitaram o desenvolvimento de técnicas de extração mais robustas, incluindo a detecção e a identificação de ácidos naftênicos provenientes de petróleo (GRUBER et al., 2012). Entre as principais técnicas de extração aplicáveis ao estudo de derivados do petróleo pode-se citar a extração líquido-líquido (clássica) (LLE - *liquid-liquid extraction*), a extração em fase sólida (SPE - *solid phase extraction*) e a cromatografia líquida preparativa de adsorção e de troca iônica (EDGE et al., 2008). A grande desvantagem é que elevadas pressões e temperaturas são essenciais para a criação do produto final (THOMAS et al., 2004). Mesmo assim, apesar do processo de extração gerar impactos significativos ao meio ambiente, essa fonte de energia ainda é a principal fonte utilizada pela sociedade (MARTINS et al., 2015).

Os problemas da emissão dos gases poluentes provenientes do uso de combustíveis fósseis passaram a ser uma preocupação para lideranças mundiais em meados da década de 70, porém existem outros motivos para a busca de novas fontes energéticas (CAVALI, 2019). Na mesma década, houve duas crises de petróleo que desencadearam uma mobilização político-econômica para esta busca (FARIAS et al., 2011). Desta forma, as fontes renováveis de energia entraram em foco, como a energia nuclear e a energia eólica.

3.2 Energia nuclear e energia eólica

A energia nuclear pode ser uma alternativa controversa, uma vez que é descrita como “limpa”. Porém, pode ter grandes impactos negativos no meio ambiente e seres vivos quando não estocada ou utilizada de forma adequada. Ou seja, os riscos associados passam a desestimular o uso desse tipo de energia. Ela é gerada a partir da fissão de átomos, ou seja, isótopos de elementos atômicos, normalmente Urânio 235, que são quebrados, e dessa quebra é obtido o calor. O calor aquece água gerando vapor, que passa por uma turbina gerando energia elétrica (COELHO, 2019). O uso da energia nuclear tem estado em declínio desde a década de 70 devido aos acidentes de *Three Mile Island*, *Chernobyl* e o mais recente em *Fukushima* em

2011 (FARIAS; SELLITO, 2011). Tais acidentes apresentam efeitos ambientais culturais, socioeconômicos e negativos até os dias atuais.

Na busca pela obtenção de energia de forma renovável e limpa, a energia eólica, a qual é gerada pelo vento, passou a ser utilizada para geração de energia elétrica. A energia eólica é proveniente de deslocamento de massas de ar, o deslocamento é dado por conta da diferença de pressão entre os locais, assim massas de ar em áreas de grande pressão tendem a ir para áreas de baixa pressão. Tal diferença ocorre por conta do aquecimento das massas de ar pelo sol. Para conversão de energia, são utilizadas turbinas eólicas que rotacionam e transformam a energia cinética em energia rotacional e com a utilização de um aero gerador, é possível obter energia elétrica (ALVES, 2009).

A energia eólica, mesmo sendo proveniente de uma fonte limpa, renovável e com grande potencial (aproximadamente, 500.000 TWh/ano), apresenta alguns desafios em sua produção, como o ruído gerado pelos parques eólicos, grandes impactos visuais em suas instalações e ainda, interferência em rota de aves (FARIAS; SELLITO, 2011). Dessa forma, tornou-se contínua a busca por tecnologias que permitam contornar esses desafios.

3.3 Energia solar, células e sistemas fotovoltaicos.

O Brasil é um país que dispõe de iluminação solar abundante, de forma que a utilização de energia solar pode ser uma alternativa viável, limpa e econômica. Nesse contexto, sistemas projetados para captação e conversão de energia solar têm sido foco de grande interesse na área de Engenharia.

Os maiores desafios para a geração de energia solar são o rendimento, que chega no máximo a 12% com silício monocristalino, e o custo das células fotovoltaicas, que mesmo desenvolvidas com silício, que é um material abundante, necessita de tecnologia onerosa para a sua geração.

Existem três tipos diferentes de células fotovoltaicas: células de silício monocristalino, policristalino e amorfo. As diferenças são baseadas em rendimento e custo, de forma que o material mais puro, silício monocristalino, apresenta maior rendimento e custo quando comparado com o material menos puro, que é o silício amorfo.

Entre as diversas tecnologias para otimização do sistema fotovoltaico, é possível destacar o sistema de rastreamento solar. Esse sistema tem o objetivo de gerar energia de acordo com o movimento do sol, e permite o melhor aproveitamento da luz solar quando comparado a um sistema estático. Essa tecnologia pode promover o aumento de 30% a 40% na produção de energia (VIERA, 2014).

As tecnologias de sistema de rastreamento podem ser classificadas inicialmente em quatro modos: quanto à quantidade de eixos rotativos, à estratégia de rastreamento, ao tipo de estrutura realizada e ao tipo de controle (VIEIRA, 2014). Em relação ao número de eixos, podem apresentar eixos simples ou duplos, sendo o simples aquele que acompanha o sol apenas de leste para oeste, enquanto o eixo duplo acompanha o movimento solar de leste para oeste e a posição relativa do sol no céu.

A classificação dos sistemas quanto à estratégia de rastreamento, conforme descrito por Vieira (2014) e Pinto (2010), depende do número de eixos existentes no painel. Sistemas com um eixo podem ter rastreamento polar, azimutal e horizontal, enquanto sistemas de dois eixos realizam rastreamento polar-equatorial e azimutal/elevação. Quanto à estrutura, as tecnologias de rastreamento podem ser classificadas em três subtipos: estrutura em pedestal, a mais simples, na qual o próprio eixo gira para movimentar o painel, estrutura giratória na qual a base movimenta-se de forma circular no eixo horizontal; e a *roll tilt*, na qual um conjunto de painéis é movimentado na direção Norte-Sul e ainda há a movimentação de cada painel na direção Leste-Oeste (PINTO et al., 2010). O objetivo das estratégias descritas é potencializar o sistema com relação à exposição ao sol durante o maior tempo e na melhor posição possíveis para garantir a otimização da estrutura em relação ao sol. Implementar a automatização desses sistemas possibilita que a estrutura móvel se movimente automaticamente acompanhando o movimento do sol durante o seu período de disponibilidade (KAHOUL et al., 2015).

Para controle do movimento, os sistemas podem ter rastreadores passivos, com controle eletro-óptico e micro processado. Tanto o eletro-óptico como o micro processado são considerados controles ativos. Sistemas com controle eletro-óptico apresentam sensores óticos em combinação com as células fotovoltaicas fazendo com que um motor DC (de corrente contínua, da sigla do inglês, *direct current*) movimente o sistema. Os sistemas com controle micro processado possuem um algoritmo matemático e uma programação para prever a movimentação o sol. Este também apresenta um motor DC para a movimentação do sistema e garante alta precisão (OLIVEIRA, 2008).

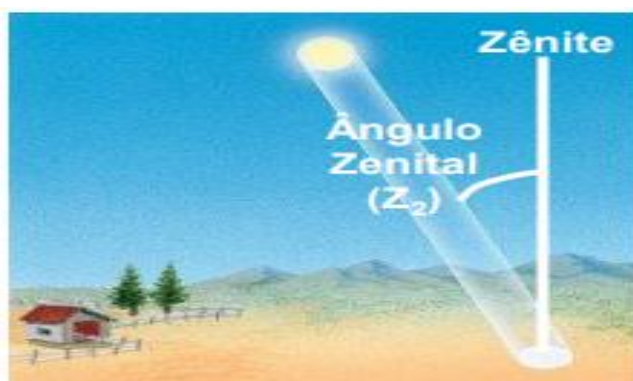
O sistema com controle passivo se movimenta apenas devido à utilização de radiação do sol na mecânica do painel, ou seja, sem uma fonte externa de energia. Para o controle passivo, geralmente é utilizado um sistema de cilindros e pistões relacionados com a estrutura para a movimentação (CANSTANÁDA, 2011).

Devido ao fato de existirem inúmeras formas de montar um sistema de captação de energia solar, estudos no mundo inteiro procuram prever quais as formas mais eficientes de montagem desses sistemas. Nesse sentido, Cortez (2012) descreveu a utilização de um Arduino® e fotodiodos para projetar um rastreador solar. Já Silva (2012) comparou um sistema solar fotovoltaico fixo com um móvel para a cidade de Braga, em Portugal.

De acordo com a Lei de Wien, que estabelece o produto entre a temperatura absoluta de um corpo e o comprimento de onda de máxima emissão energética é uma constante, ou seja, quanto menor a temperatura, maior será o comprimento da onda (SANTOSA, 2020).

A distribuição da irradiação solar na superfície terrestre é obtida através do zênite, que é a linha perpendicular formada com relação ao plano em que o raio é projetado e o ângulo que se forma entre os raios solares. Esse ângulo é chamado de zenital, conforme o ilustrado na Figura 1.

Figura 1. Ângulo Zenital.



Fonte: Irradiação Solar. Cresesb.cepel (2021)

O fluxo de potência é mais conhecido como irradiação solar, mas o termo técnico é irradiância solar, que é a energia medida por unidade de área. O ângulo do zênite solar depende da latitude, do ângulo de declinação e do deslocamento angular do sol devido à rotação da terra (SANTOSA, 2020)

O estudo do aumento da capacidade de captação dos raios solares, ou seja, da incidência desses raios sobre o plano em estudo está diretamente ligado à localização dos painéis. Isso porque, a localização, o período do ano, a disponibilidade e a intensidade dos raios podem variar, devido ao giro da Terra em torno do Sol (MOHAMED; KHALIL, 2018). As coordenadas horizontais solares, o ângulo de incidência e o ângulo zênite vão estar sujeitos a essas variações. Com a movimentação da estrutura no eixo horizontal, tem-se um melhor aproveitamento na captação dos raios solares, devido à diminuição do ângulo zênite. Quanto mais perpendicularidade existir entre os raios solares e as placas fotovoltaicas, melhor será a absorção, pois caso contrário os raios tendem a refletir de forma rasante, impactando diretamente a eficiência de absorção do sistema.

MATERIAL E MÉTODOS

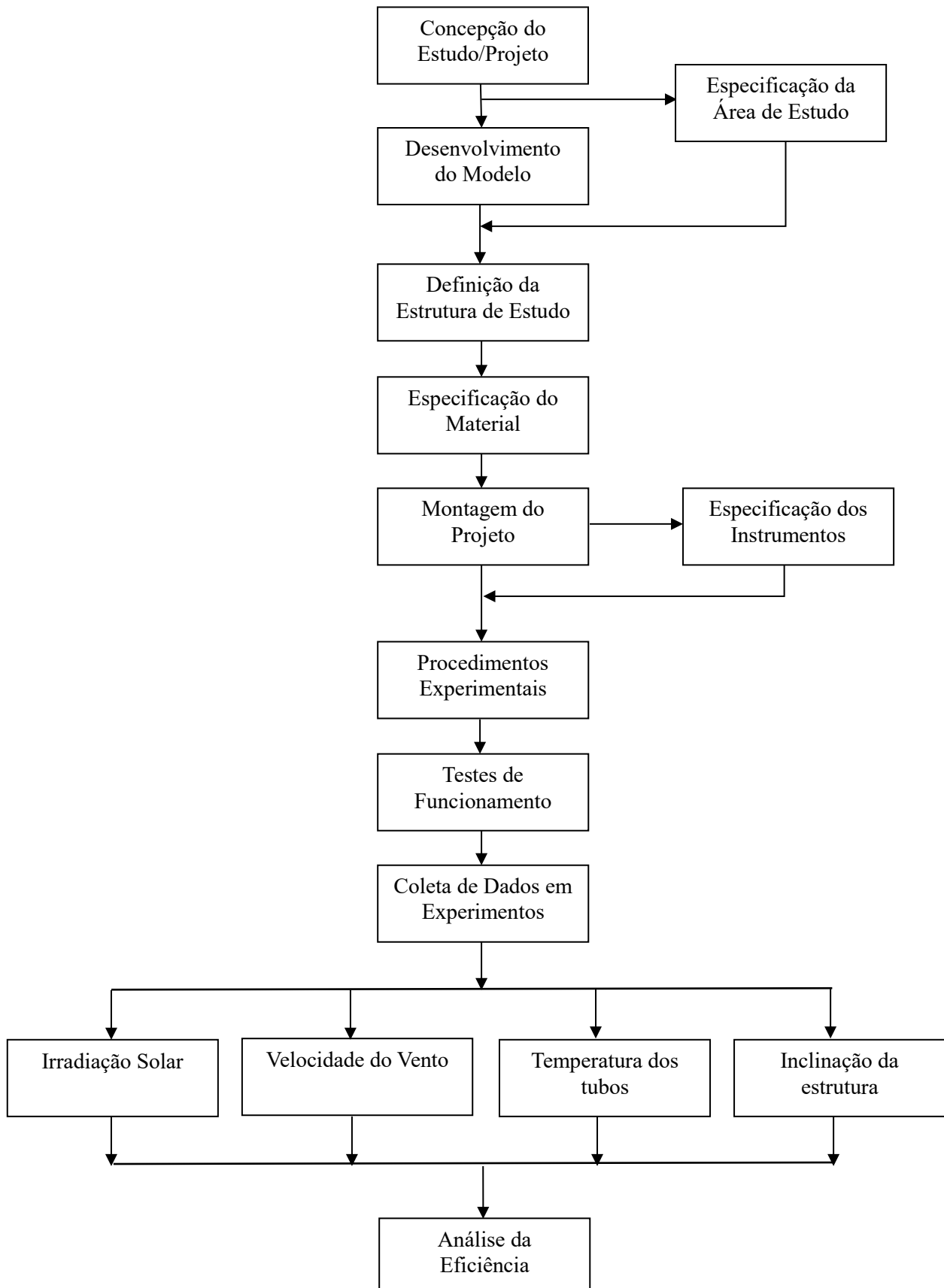
4.1 Fluxograma do estudo

As etapas do estudo podem ser observadas no fluxograma da Figura 2. Inicialmente, verifica-se a concepção do estudo/projeto, avaliando as limitações dos sistemas de captação de irradiação solar já existente. Após a concepção do projeto, foi definido o local dos experimentos e a fabricação do modelo, para posteriormente ser elaborada a estrutura de todo o estudo.

Logo após foi determinada a especificação e a quantidade dos materiais utilizados no projeto. Posteriormente, foi realizada a montagem de todo o projeto com os materiais pré-estabelecidos e a especificação de quais instrumentos seriam utilizados nos testes de campo.

Iniciaram-se os procedimentos experimentais com os testes de funcionamento do projeto para verificar se a concepção do estudo era adequada. Para a coleta dos dados foram definidos quatro requisitos que têm a influência direta no bom funcionamento do projeto, que são: irradiação solar, velocidade do vento, temperatura dos tubos e inclinação da estrutura. Por fim, foi realizada a análise dos dados, para verificar os ganhos reais obtidos no estudo em termos de eficiência para a captação da irradiação solar.

Figura 2. Fluxograma do estudo.



Fonte: Autor

4.2 Área de estudo e experimentação

Os experimentos foram realizados no laboratório do Centro de Energias Renováveis da Faculdade de Engenharia da UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, localizada na Avenida Doutor Ariberto Pereira da Cunha, 333, Pedregulho, Guaratinguetá, São Paulo.

A cidade de Guaratinguetá, SP, localiza-se na latitude de $22^{\circ}48'58''\text{S}$ e longitude $45^{\circ}11'37''\text{O}$, a 561 metros acima do nível do mar e a apresenta clima quente e temperado. Há maior pluviosidade no verão do que no inverno. De acordo com Köppen e Geiger (1928), a classificação do clima é Cwa. A temperatura média anual em Guaratinguetá é 20°C e a pluviosidade média anual é de 1318 mm. Nas Figuras 3 (a) e (b) pode-se verificar a localização da área aonde foram realizados os testes. Foram utilizados os arredores do laboratório do Centro de Energias Renováveis devido à estrutura que o mesmo oferece e ao acesso aos equipamentos necessários para os experimentos.

Figura 3. (a) Área de estudo; (b) Laboratório do Centro de Energias Renováveis, Guaratinguetá, SP.



Fonte: Autor

4.3 Equação teórica do sistema

Para a realização desse trabalho foi utilizada a equação dos gases perfeitos, conhecida também como equação geral dos gases. Ela foi criada pelo cientista francês Beniot Paul Emile Clapeyron (1799–1864), que foi engenheiro, físico-químico e um dos precursores da termodinâmica. Para esse estudo, há importância da aplicação dessa equação, pois o fluido utilizado foi o ar comprimido devido às suas propriedades de compressão, elasticidade, expansibilidade, entre outras. Suas principais características são:

- Densidade específica: $1,2754 \text{ kg.m}^{-3}$
- Peso específico: $0,00129 \text{ Kg / l}$

A equação base é:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

Onde:

P é a pressão do gás (Pa); V é volume do gás (m^3); n é quantidade de matéria do gás; T é a temperatura do gás (K); R é a constante universal dos gases.

Foram utilizados, como referências, a data, horário e a situação climática no momento da coleta dos resultados. Para a realização do estudo não foram utilizadas a quantidade de matéria e a constante universal, pois a quantidade nos dois circuitos e o gás utilizado nos dois circuitos são o mesmo. Por isso, a fórmula ficou desse formato:

$$(P_1 \cdot V_1) / T_1 = (P_2 \cdot V_2) / T_2 \quad (2)$$

Portanto:

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2 \quad (3)$$

Onde:

P_1 é a pressão no tubo 1 (Pa); P_2 é a pressão no tubo 2 (Pa); T_1 é a temperatura no tubo 1 ($^{\circ}\text{K}$); T_2 é a temperatura no tubo 2 ($^{\circ}\text{K}$); V_1 é o volume do tubo 1 (m^3); V_2 é o volume do tubo 2 (m^3).

Essa equação explica teoricamente por que a estrutura se movimenta, pois esta baseada na variação de temperatura e, conseqüentemente, de pressão. Para que ocorra o movimento da estrutura para o sentido norte, há aumento da temperatura T_2 . Esse aumento é proporcional ao

da pressão P_2 , fazendo com que a estrutura se desloque no sentido contrário ao da incidência dos raios solares sobre o tubo que está sendo aquecido.

Na condição inicial, a estrutura está em repouso, ou seja, em sua posição inicial que é paralela ao solo ao qual está instalada. Foram realizados testes com a estrutura em uma posição fixa, sem nenhum grau de liberdade. Essa coleta de dados foi utilizada como uma das referências para análise da eficiência proposta no estudo.

4.4 Sistema de captação e instrumentos

A estrutura foi montada de frete para o Norte, da mesma forma que é montada as estruturas fixas encontradas no mercado, pois geralmente o Sol nasce no Leste e se põe no Oeste, projetando seus raios sobre a estrutura. Os testes foram realizados e validados, pois somente após a execução dessas etapas foram coletados os dados através dos experimentos e o registro dos dados durante o período dos testes obedeceu aos seguintes requisitos:

- Temperatura dos tubos: para análise da capacidade de absorção de energia térmica no sistema. Para definir a temperatura necessária que o tubo contendo o fluido (ar comprimido) deveria atingir para que o sistema começasse a realizar as movimentações desejadas, foi utilizado um termômetro digital de contato da marca INSTRUTHERM, modelo TE-400, escala de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $-58\text{ }^{\circ}\text{F}$ a $392\text{ }^{\circ}\text{F}$, precisão de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (fora desta escala a precisão seria de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) e de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{F}$ entre $40\text{ }^{\circ}\text{F}$ e $302\text{ }^{\circ}\text{F}$ (fora desta escala a precisão é $\pm 4\text{ }^{\circ}\text{F}$). Durante o período da realização dos testes, o aumento da temperatura do tubo contendo o fluido (ar comprimido) possibilitou que o sistema sofresse as movimentações desejadas. O termômetro foi colocado em posição perpendicular aos tubos pintados de preto fosco, com o objetivo de avaliar a variação de temperatura dos tubos e a necessidade do aumento da mesma para que o sistema alterasse a posição e aumentasse, assim, a sua eficiência na captação solar.
- Inclinação da estrutura: para a análise da variação da inclinação da estrutura de acordo com a variação de irradiação sobre o sistema. A variação da inclinação da estrutura foi avaliada com um inclinômetro analógico da marca MAGNETIC base, medida de ângulos de 0° a 90° e escala de precisão de 1° . O inclinômetro foi utilizado para medir a inclinação obtida com as movimentações durante os testes,

ou seja, quanto maior a temperatura obtida no tubo, maior seria a inclinação do sistema. O maior grau de liberdade permitido por esse sistema nas configurações descritas foi de 30° , sendo 15° para cada lado.

- Velocidade do vento: para análise da influência do vento sobre a estrutura. A velocidade do vento foi mensurada com um anemômetro digital da marca INSTRUTHERM, modelo AD 250, faixa de medição de 0, 1 a 30 m/s, escala de precisão de $20 \text{ m/s} \pm 3\%$ e $\geq 20,1 \text{ m/s} \pm 4\%$. Foram coletados os dados com relação à velocidade do vento para a posterior análise da influência do vento sobre a estrutura e impactos no estudo.
- Irradiação solar: para a análise da diferença de captação dos raios solares sobre o plano de estudo, ou seja, o plano móvel da estrutura. A captação da irradiação solar foi registrada com o auxílio de um Luxímetro digital da marca INSTRUTHERM, modelo MES 100, escala de 1 W/m^2 e precisão de $\pm 10 \text{ W/m}^2$. Esse instrumento permitiu mensurar a incidência dos raios solares sobre o sistema e dessa forma, obter as suas variações ao longo do dia.

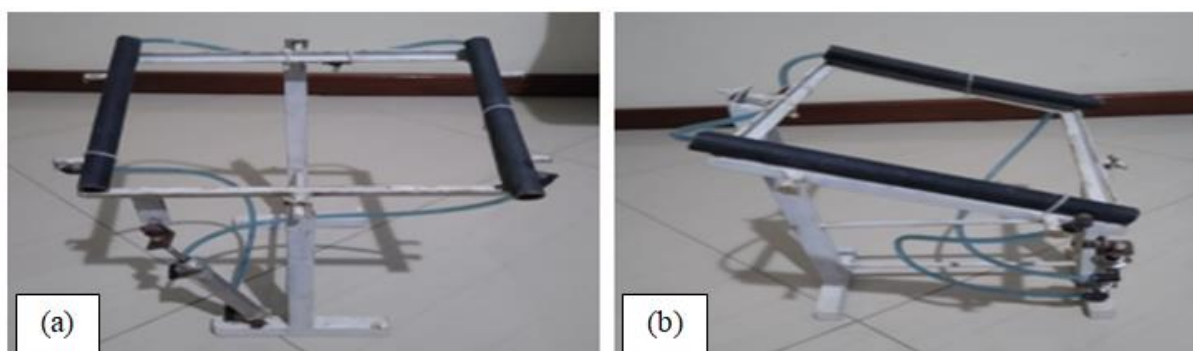
PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

5.2 Desenvolvimento do modelo

O modelo foi fabricado com o mesmo material da estrutura do projeto, em formato reduzido, na escala de 1:120. A montagem objetivou obter uma perspectiva real de como o projeto deveria funcionar, com um grau de liberdade pré-determinado, tendo como objetivo uma estrutura com movimento autônomo, de acordo com a incidência dos raios solares.

Nas Figuras 4 (a) e (b), pode-se verificar a maquete construída para o início do estudo e a elaboração do projeto em diferentes etapas.

Figura 4. Vista da maquete (a) frontal; (b) lateral.



Fonte: Autor

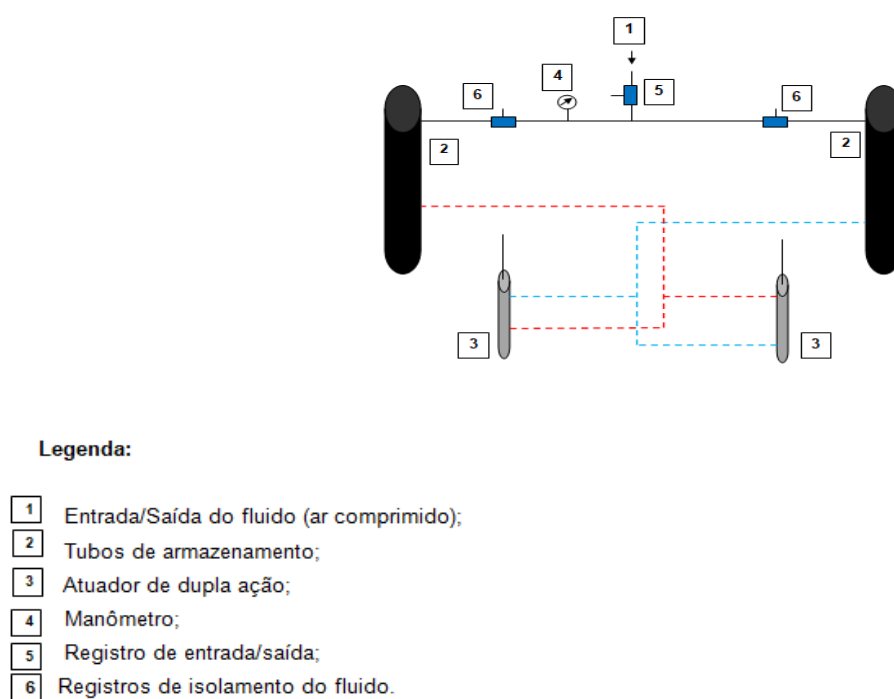
5.2 Esquema de instalação do circuito

Para a movimentação da estrutura foi desenvolvido um circuito pneumático fechado, para que ao sofrer as variações, o sistema pudesse realizar as movimentações esperadas. Na Figura 5, consta o circuito com o detalhamento da instalação do sistema de transmissão de movimentos. Os tubos pretos são reservatórios de fluidos e também recebem os raios solares que altera a temperatura do fluido.

Os cilindros pneumáticos (pistões) são responsáveis pela transmissão de movimento do sistema, ou seja, movimentam a estrutura móvel de um lado para o outro e são interligados

inversamente aos tubos, otimizando assim o sistema. O circuito é interligado com tubos de poliuretano e conexões de engate rápido. As válvulas de bloqueio foram instaladas interligando os dois circuitos, para que após a alimentação do sistema com o fluido (ar comprimido), possa equalizar o sistema, ou seja, garantindo que a mesma pressão seja aplicada em ambos os lados no início dos testes, posteriormente os circuitos são isolados e o manômetro demonstra a pressão de trabalho e se o sistema está perdendo fluido para o meio ambiente.

Figura 5. Circuito de instalação pneumática de transmissão de movimentos. Sem escala.



Fonte: Autor

A Figura 5 demonstra o circuito pneumático que possibilita os movimentos do circuito. Para o funcionamento do sistema os registros de bloqueio, devem estar fechados para que haja o isolamento do circuito 1 em relação ao circuito 2. Os tubos são reservatórios de armazenamento do fluido (ar comprimido) para garantir o funcionamento do sistema e também recebe a ação dos raios solares aumentando a temperatura e consequentemente a pressão do sistema. Os atuadores pneumáticos estão montados no circuito de forma inversa, pois quando o atuador do circuito 1 avança, o atuador do circuito 2 recua, fazendo a movimentação da estrutura para ambos os lados.

Os tubos do sistema são alimentados com o fluido (ar comprimido) por uma entrada onde estão instalados os três registros de bloqueio e o manômetro. O primeiro registro é a porta de

entrada do sistema, ou seja, liberar a entrada ou a saída do fluido do sistema. Os outros dois registros de bloqueio servem para fazer a equalização e o isolamento dos dois circuitos.

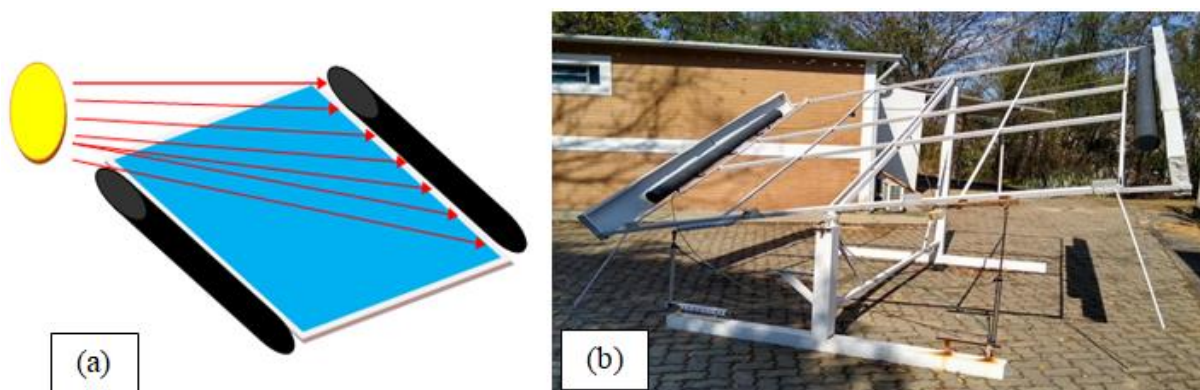
RESULTADOS

6.1 Funcionamento do sistema de captação

Durante as primeiras horas do dia, os raios solares incidem sobre o tubo de diâmetro de 0,1 m e comprimento de 2,0 m (pintado de preto fosco e fixado na estrutura do lado direito). O aquecimento do tubo resulta na expansão do fluido que se encontra inserido no sistema. Com a expansão do fluido (ar comprimido) por uma diferença de pressão/volume sobre sistema, a estrutura se desloca para o lado oposto, ou seja, o lado esquerdo.

A estrutura apresenta então uma inclinação de 75° em relação ao solo, aumentando a eficiência do sistema. Os raios solares, a princípio, não apresentam a mesma incidência sobre o tubo fixado do lado esquerdo, pois o mesmo se encontra protegido por um anteparo, uma estrutura branca, que evita que os raios incidam diretamente sobre um lado, enquanto age também como uma placa refletora do outro lado, promovendo a reflexão interna do anteparo sobre o lado direito do tubo, de acordo com as Figuras 6 (a) e (b).

Figura 6. (a) Inclinação do sistema no período da manhã; (b) Estrutura no período da manhã.

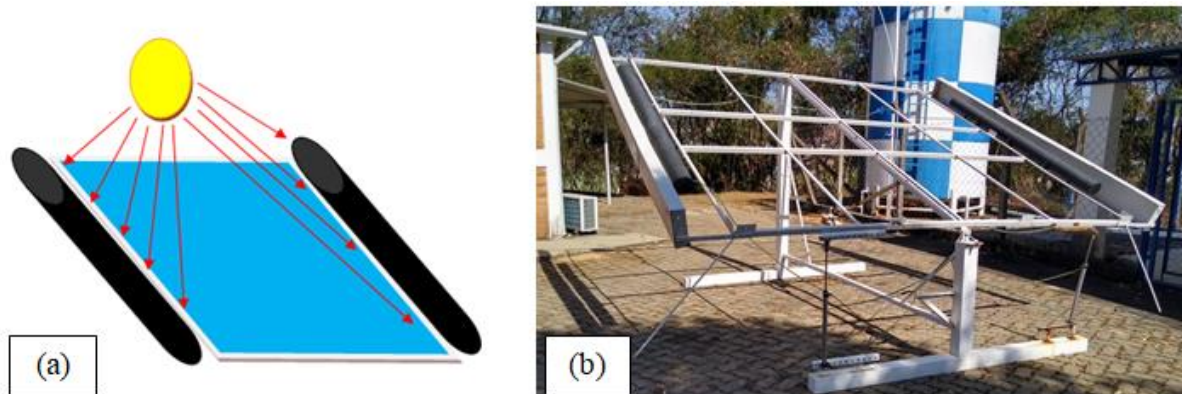


Fonte: Autor

Ao decorrer do dia, os raios solares incidem lentamente sobre o tubo fixado do lado esquerdo da estrutura, aumentando a temperatura do fluido (ar comprimido). Com o aumento da temperatura do tubo do lado esquerdo, o fluido aumenta a relação pressão/volume, equalizando a pressão e fazendo com que a estrutura se mova para a direita. Nesse ponto, os raios solares também estão incidindo sobre o tubo do lado direito, de forma que, mesmo com o aumento da pressão, o sistema tende a se equalizar, fazendo com que a estrutura seja

posicionada em uma inclinação de 0° em relação ao solo. Com a incidência dos raios sobre os dois tubos, a temperatura do sistema é igual mantendo a mesma temperatura e pressão em ambos os circuitos de acordo com as Figuras 7 (a) e (b).

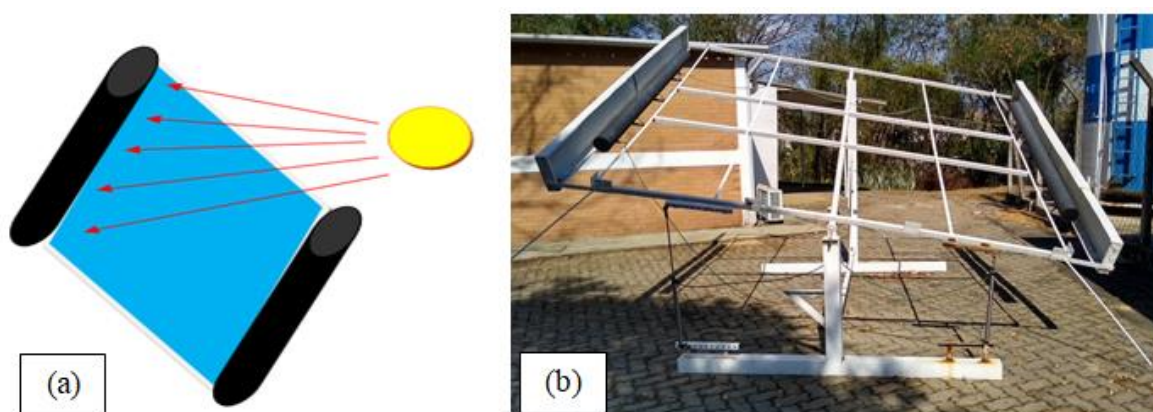
Figura 7. (a) Sistema no intermédio do dia; (b) Estrutura em repouso ou posição inicial.



Fonte: Autor

Com a proximidade do entardecer, os raios solares têm sua incidência direcionada para o tubo do lado esquerdo, assim sua temperatura mantém se e a relação pressão/volume também se mantém. Em compensação, o tubo do lado direito deixa de receber a incidência dos raios solares devido ao anteparo de proteção. Sendo assim, o tubo do lado esquerdo perde temperatura gradativamente e a relação pressão/volume diminui. A estrutura alcança, então, uma nova posição a 105° em relação ao solo, conforme as Figuras 8 (a) e (b).

Figura 8. (a) Inclinação do sistema no período da tarde; (b) Estrutura no período da tarde.

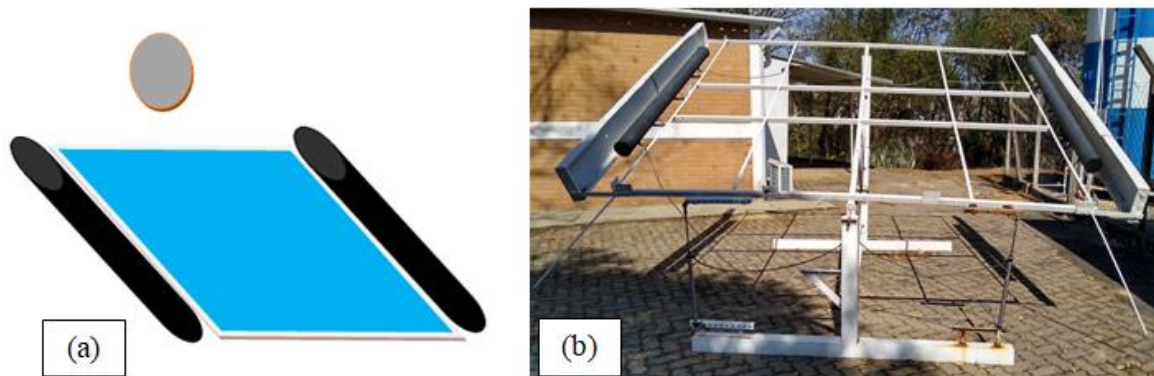


Fonte: Autor

Com a chegada do período noturno a ausência de raios solares sobre os reservatórios (tubos), os mesmos perdem calor para o meio e com isso acontece a equalização da pressão dos

dois circuitos, fazendo com que a estrutura retorne à posição inicial, ou seja, de repouso, aguardando assim um novo ciclo de captação, de acordo com as Figuras 9 (a) e (b).

Figura 9. (a) Sistema final do dia em posição inicial; (b). Estrutura na posição de repouso.



Fonte: Autor

A equalização do sistema nesse caso é feita durante o período da noite, pois a temperatura ambiente é menor e consequentemente, a temperatura do sistema diminui também. O manômetro é utilizado para a avaliação das alterações no sistema e como ferramenta para verificar se está ocorrendo algum tipo de perda.

Ao final de cada ciclo de movimentação, ou seja, manhã, tarde e noite, o sistema sofre resfriamento devido à temperatura ambiente, o que permite que o sistema retorne à sua posição de repouso. O contrapeso, que está instalado no centro do sistema, tem a função de garantir que o mesmo permaneça em posição de repouso, em 0° em relação ao solo, enquanto ocorre a equalização das temperaturas/pressões/volume.

Importante: durante os dias nublados ou chuvosos, a estrutura não sofre alteração de temperatura e não há variação do fluido (ar comprimido). A estrutura permanece em sua posição de repouso e não há perda nesse sistema quando comparado ao modelo convencional que utiliza a estrutura fixa.

Na Figura 10, encontra-se a estrutura inicial, com um grau de liberdade e inclinação de 15° para o lado direito e 15° para o lado esquerdo, somando assim uma liberdade de inclinação de 30° . A área de captação da incidência dos raios solares é de $3\text{ m} \times 3\text{ m}$, ou seja, 9 m^2 de área útil de exposição ao sol. Os tubos que sofreram o aquecimento com os raios solares estão fixados nas laterais da estrutura móvel.

Figura 10. Estrutura base do estudo.

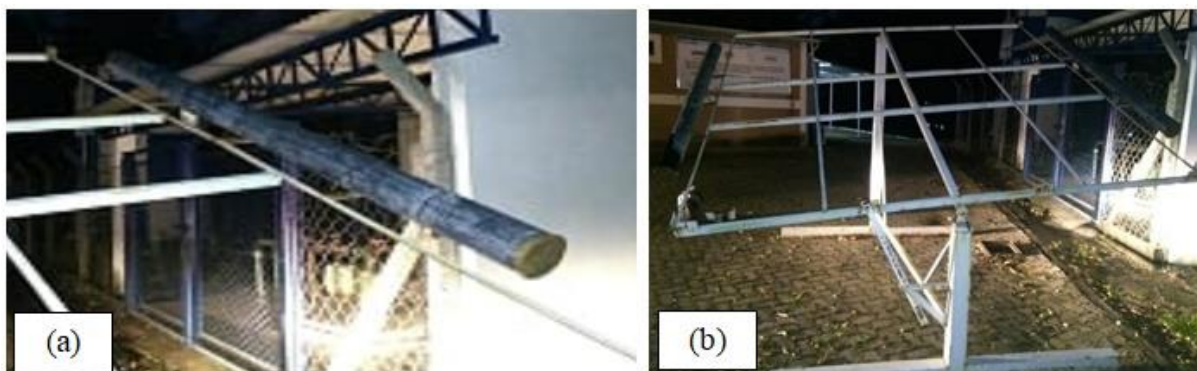


Fonte: Autor

6.2 Estrutura do sistema de captação

As Figuras 11 (a) e (b) retratam o processo de montagem dos tubos de 0,1 m de diâmetro interno por 2 m de comprimento. Estes tubos fazem a captação de temperatura e o reservatório, onde a relação pressão/volume passará por variações que permitirão ao sistema a movimentação em ambos os lados.

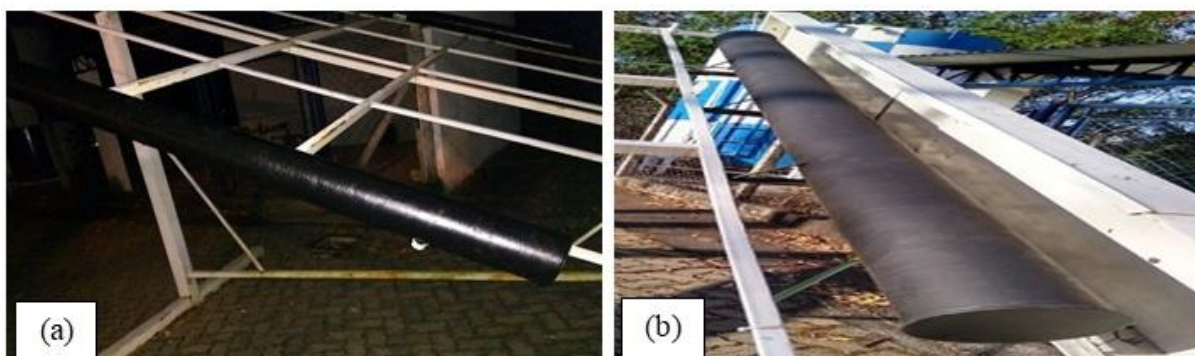
Figura 11. (a) Tubo para armazenamento do fluido; (b) Dois tubos fixados na estrutura.



Fonte: autor

As Figuras 12 (a) e (b) apresentam a pintura dos tubos com tinta preta fosca, para aumentar a capacidade de captação de calor por meio da incidência dos raios solares, e o anteparo dos tubos montados. O lado externo dos anteparos serve como proteção para o tubo, para que não haja interferência dos raios solares pelo lado de fora e o lado interno serve como refletor para o tubo, aumentando a eficiência da captação do sistema.

Figura 12. (a) Tubo pintado de preto fosco; (b) anteparos montados para proteção dos tubos.

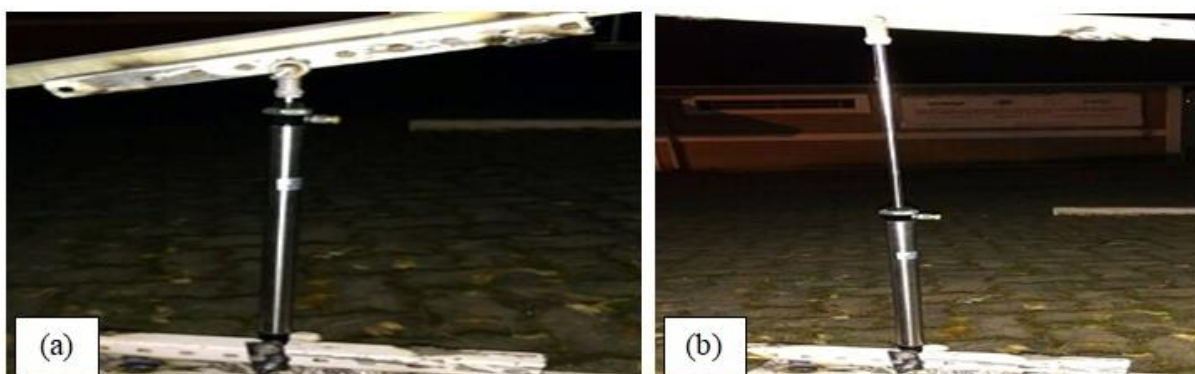


Fonte: Autor

Nas Figuras 13 (a) e (b), observa-se a fixação da base dos cilindros de dupla ação. Nesse caso a capacidade de inclinação é de 30° devido ao curso dos cilindros que são de 0,45 m.

A pressão de 800.000 Pa foi configurada para a realização dos testes, uma vez que, visando o melhor rendimento, foi calculado o aumento de 10% da temperatura e de aproximadamente 100.000 Pa no sistema. Foi montada uma haste, apoiada por um suporte de metalon, como forma de sustentação para o contrapeso, de forma que a haste não sofresse nenhuma alteração em sua forma e não apresente variação na distância entre o peso e o sistema. Esse contrapeso contribuiu para o equilíbrio do sistema. Com 5 Kg, o contrapeso atuou quando o sistema estava com a sua pressão/volume equalizados, apresentando ação direta no sistema para que o mesmo retornasse à sua condição de repouso.

Figuras 13. (a) cilindro com a haste fechada; (b) cilindro com a haste aberta.



Fonte: Autor

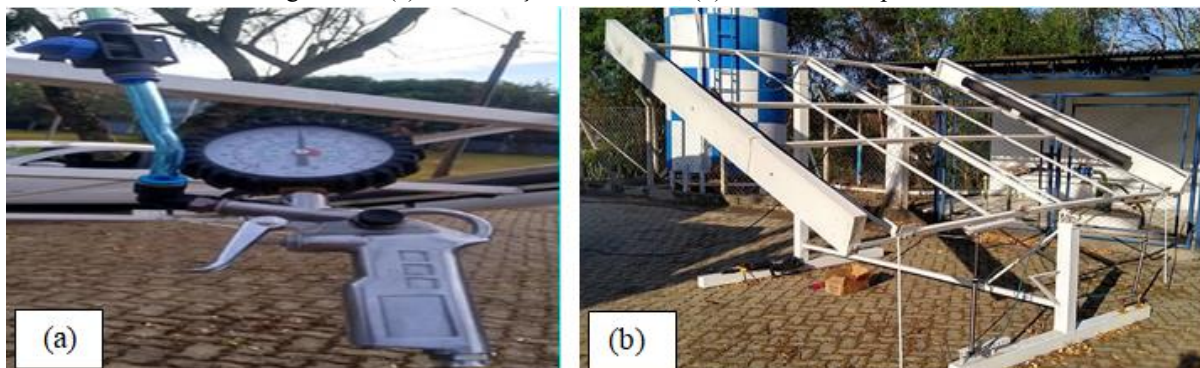
A Figura 14 (a) mostra a alimentação do sistema, onde foi utilizada uma mangueira de borracha trancada com capacidade de carga de 130.000 Pa, uma pistola com manômetro acoplado e uma conexão de engate rápido. A mangueira de Poliuretano (PU) e o registro têm a

função de conectar a alimentação ao sistema e abrir e fechar o fluxo, de forma a limitar a entrada do fluido (ar comprimido) e/ou também para eliminar o fluido (descarregar) do sistema em caso de alteração ou manutenção do mesmo.

O sistema em repouso, equalizado, completo e pronto para iniciar os testes é retratado na Figura 14 (b), em que são apresentados o circuito montado e a estrutura em repouso. Essa condição demonstra o início e o termino dos testes, ou seja, toda vez que os sistemas não estiverem em funcionamento com a incidência solar, o sistema estará na mesma posição que uma estrutura fixa, garantido assim uma condição já utilizada em instalações de sistemas de energia solar, ou seja, esse sistema proposto não tem perca em relação ao sistema já existente.

Os tubos estão interligados com tubos de poliuretano de 0,008 m e conexões de engate rápido, mas isolados entre si, pois o circuito é alimentado com ar comprimido através de uma pistola controlada manualmente, para uma maior precisão e assim garantir a pressão de 800.000 Pa no circuito e posteriormente os registros de bloqueio são acionados para facilitar a equalização do sistema após o processo de alimentação.

Figura 14. (a) Alimentação do sistema; (b) Sistema em repouso.



Fonte: Autor

6.3 Segurança para o equipamento e para o operador

Após a montagem da estrutura e abastecimento dos circuitos, são necessárias algumas cautelas no manuseio/manutenção do equipamento, como:

- Descarregar os circuitos, abrindo os registros 5 e posteriormente o registro 1, pois o sistema trabalha com uma pressão de 800.000 Pa;

- Após a interferência nos circuitos, garantir que os tubos de poliuretano estejam bem conectados, pois a pressão pode causar movimentos bruscos nos tubos podendo causar acidentes;
- Antes de abastecer os circuitos, garantir que os registros 1 e 5 estejam abertos, para que não haja excesso de pressão na entrada dos circuitos.

Os itens citados acima devem ser executados para garantir a segurança do operador e do equipamento, pois qualquer interferência no sistema requer que o mesmo esteja vazio, ou seja, descarregado, pois o sistema vai trabalhar com uma pressão de 8 bar (800 kPa). Com isso, qualquer dano ou desvio decorrente de perda do fluido, pode causar danos ao operador e/ou ao equipamento.

6.4 Testes de Funcionamento

Após a montagem de todos os componentes, a instalação e abastecimento dos circuitos de acionamento do sistema, foram iniciados os testes para a aquisição dos parâmetros de início dos experimentos. Para garantir o funcionamento e a movimentação da estrutura de acordo com o grau de liberdade proposto pelo projeto, que tem uma inclinação de 15° para cada lado, contemplando assim 30° na soma de ambos os movimentos.

1º teste: Os circuitos foram abastecidos inicialmente com 400.00 Pa de pressão, com a realização dos testes. Após os reservatórios chegarem em uma temperatura máxima de 320,35° K, a pressão do sistema chegou em 440.000 Pa. Essa pressão não foi suficiente para que a estrutura se movimentasse;

2º teste: Os circuitos foram abastecidos com 500.000 Pa de pressão, com a realização dos testes e após os reservatórios chegarem em uma temperatura máxima de 316,75° K, a pressão do sistema chegou em 560.000 Pa. Essa pressão não foi suficiente para que a estrutura se movimentasse;

3º teste: Os circuitos foram abastecidos com 600.000 Pa de pressão, com a realização dos testes e após os reservatórios chegarem em uma temperatura máxima de 318,45° K, a pressão do sistema chegou em 670.000 Pa. Essa pressão não foi suficiente para que a estrutura se movimentasse também;

4º teste: Os circuitos foram abastecidos com 700.000 Pa de pressão, com a realização dos testes e após os reservatórios chegarem em uma temperatura máxima de 317,95° K, a pressão do sistema chegou em 750.000 Pa. Com essa pressão a estrutura deu um pequeno sinal de movimento, mas não foi suficiente para que a estrutura se movimentasse de acordo com o esperado;

5º teste: Os circuitos foram abastecidos com 800.000 Pa de pressão, com a realização dos testes e após os reservatórios chegarem em uma temperatura máxima de 318,25° K, a pressão do sistema chegou em 870.000 Pa. Com essa pressão a estrutura se movimentou de acordo com o esperado para a posição de inclinação máxima de 15° para o Norte.

Após a realização desses experimentos iniciais de funcionamento, como ponto de início dos experimentos que os circuitos necessitaram estar com no mínimo 800.000 Pa de pressão, pois com uma pressão inferior, com a temperatura obtida através dos testes, não será possível a movimentação da estrutura e consequentemente não será atingido o objetivo, que é aumentar a capacidade de absorção dos raios solares incidentes no plano em questão.

6.5 Especificações dos materiais utilizados

Os materiais apresentados na Tabela 1 utilizados na fabricação do circuito de transmissão de movimentos da estrutura em estudo, pois a movimentação da estrutura é feita por cilindros pneumáticos fixados na base da estrutura e na estrutura móvel, com o objetivo de transmitir os movimentos de um lado para o outro e os valores citados foram obtidos através da aquisição dos materiais para a montagem do projeto. Os cilindros são interligados inversamente um em relação ao outro, ou seja, circuito de avanço do cilindro A é ligado no retorno do cilindro B e interligados com tubos de poliuretano de 0,008 m e conexões de engate rápido, para facilitar a instalação e garantir a vedação do sistema, sendo assim não ter perda de ar comprimido para o meio.

Tabela 1 - Especificações das peças utilizadas no projeto inicial.

Estrutura Autônoma			
Descrição	Quantidade (un.)	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Atuador Pneumático Ø 0,025 m x 0,45 m	2	251,38	502,76
Conexão T tubo PU x tubo PU Ø 0,008 m	3	3,48	10,44
Reguladora de fluxo cotovelo plástica Ø 0,008 m	4	13,59	54,36
TEE para tubo PU de Ø 0,008 m	3	3,48	10,44
Conexão T Ø 0,008 m + Luva	1	9,95	9,95
Registro para tubo PU de Ø 0,008 m	3	15,00	45,00
Manômetro de Ø 0,041 m aço carbono	1	26,78	26,78
Conexão reta Ø 0,008 m	1	4,38	4,38
Tubo de poliuretano (PU) Ø 0,008 m x 0,0055 m	15	3,31	49,65
Tubos pintados de preto de Ø 100 mm x 2.000 mm	2	150,00	300,00
Total			1013,76

Fonte: Autor

6.6 Condições adicionais

Ao longo dos testes, foi verificado que mesmo a estrutura tendo um grau de liberdade, não apresenta a eficiência aumentada no início do dia, pois a temperatura dos tubos não é suficiente para provocar a variação de pressão no sistema, necessária para a estrutura se inclinar para o Norte para maior captação dos raios solares. Nesse contexto, dois novos sistemas de automatização (A e B) foram projetados para garantir um melhor aproveitamento desde o início do dia. As variações do novo sistema acontecem por meio de sinais emitidos por um sistema LDR, posicionado na extremidade superior da estrutura.

A primeira opção, sistema A, consiste na montagem do sistema utilizando um circuito pneumático, onde o sensor LDR, localizado na extremidade superior do lado direito, recebe os raios solares do início do dia e emite um sinal para um lado da válvula direcional de três posições, que pilota o carretel para a posição 1 e faz com que a estrutura se incline 15° para o Norte. Durante o período mediano do dia os dois sensores LDRS recebem os raios solares emitindo um sinal para os dois lados da válvula direcional, movimentando o carretel para a posição central, que é a posição 2 e consequentemente equalizando a estrutura em sua posição de repouso. Quando o dia transcorre para o período da tarde, o sensor LDR localizado na extremidade superior esquerda, recebe os raios solares emitindo um sinal para o lado oposto da válvula direcional, deslocando o carretel para a posição 3, fazendo com que a estrutura incline em 15° para o Sul.

Esse sistema é alimentado por uma placa foto voltaica de 120 W/h. Que fica fixa na parte superior da estrutura, em uma posição central, alimentando eletricamente o sistema, para que o mesmo tenha energia elétrica na realização dos movimentos que se necessita para uma melhor captação da incidência dos raios solares.

Na Tabela 2, estão apresentados os materiais necessários para a instalação desse esquema alternativo que não depende exclusivamente da variação de temperatura e de pressão dos tubos, similar a condição citada na Tabela 1.

A segunda opção, sistema B, consiste na montagem do sistema utilizando um circuito de movimentação por meio de fusos e parafusadeiras/apertadeiras de bateria, acionando um fuso de rosca, que faz com que a inclinação da estrutura se mova de um lado para o outro, de acordo com o sinal obtido de um dos sensores LDR fixado na mesma posição da opção do projeto, assim como o sistema de alimentação do circuito. O fator que difere o sistema B do sistema A é a não utilização do circuito pneumático, o que faz com que a estrutura se torne mais leve e de fácil movimentação.

Tabela 2 - Especificação das peças para o projeto opção A

Estrutura Automatizada - Opção A			
Descrição	Quantidade (un)	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Atuador Pneumático Ø 0,025 m x 0,045 m	2	251,38	502,76
Conexão T tubo PU x tubo PU Ø 0,008 m	3	3,48	10,44
Reguladora de fluxo cotovelo plástica Ø 0,008 m	4	13,59	54,36
TEE para tubo PU de Ø 0,008 m	3	3,48	10,44
Conexão T Ø 0,008 m + Luva	1	9,95	9,95
Registro para tubo PU de Ø 0,008 m	3	15,00	45,00
Manômetro de Ø 0,041 m aço carbono	1	26,78	26,78
Conexão reta Ø 0,008 m	1	4,38	4,38
Tubo de poliuretano (PU) Ø 0,008 m x 0,0055 m	15	3,31	49,65
Tubos pintados de preto de Ø 0,1 m x 2 m	2	150,00	300,00
Válvula direcional 5/3 vias de centro fechado	1	219,77	219,77
Mini compressor de ar	1	80,00	80,00
Bateria de Motocicleta Selada	1	125,00	125,00
Módulo/ sensor LDR	2	15,00	30,00
Cabo de 1,5 mm ²	20	1,20	24,00
Total Geral			R\$ 1.492,53

Fonte: autor

Na Tabela 3 assim como na Tabela 2, estão apresentados os materiais necessários para a instalação para outra opção de um sistema alternativo, pois esse sistema receberá a incidência dos raios solares, que através de um comando eletrônico enviará um sinal para o sistema de transmissão (parafusadeira/apertadeira) realizará os movimentos da estrutura.

Tabela 3 - Especificação das peças para o projeto opção B

Estrutura Automatizada - Opção B			
Descrição	Quantidade (un)	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Barra Roscada de Aço Carbono 0,025 m x 1 m zincada	2	60,00	120,00
Porca Sextavada de 0,025 m Zincada	4	5,00	20,00
Kit mancal + rolamentos	1	74,00	74,00
Parafuso Sextavado	8	1,00	8,00
Material para a fabricação dos suportes	2	120,00	240,00
Furadeira/parafusadeira	2	250,00	500,00
Bateria de Motocicleta Selada	1	125,00	125,00
Módulo/ sensor LDR	2	15,00	30,00
Timer Digital programável de 12 v com temporizador LCD com 16 programas	1	90,00	90,00
Material elétrico para a instalação do circuito	1	250,00	250,00
Cabo de 1,5 mm ²	20	1,20	24,00
Total Geral			1481,00

Fonte: autor

Conforme dados plotados nas tabelas A1, A2, A3, A4, A5 A6, A7, A8, A9 e A10, citadas no apêndice, permitem verificar que, nas condições descritas, a incidência dos raios solares sobre a estrutura fixa é indireta no início do dia e no decorrer da segunda parte da tarde, pois o ângulo dos raios em relação a estrutura não favorece sua incidência. Ao longo período de intermédio do dia, esse aproveitamento aumenta, pois, a posição do sol em relação a estrutura favorece a captação dos raios. No entanto, a medida que o período da tarde se aproxima, a posição do sol varia e sua eficiência diminui significativamente. Esse fato se mostra independente da condição climática a qual a estrutura está exposta.

As tabelas A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A 19 e A20 citadas no apêndice, demonstra os dados dos experimentos com um grau de liberdade e com a variação da inclinação da estrutura de acordo com a variação da temperatura do sistema. Os dados são referentes ao sistema com um grau de liberdade, ou seja, com o sistema de rastreamento do sol, por meio da variação de temperatura e pressão. Dessa forma, a incidência dos raios sobre a estrutura permite melhor aproveitamento dos raios solares devido ao ângulo de inclinação da estrutura. Foi possível verificar ainda, que o tubo precisa de um aquecimento considerável, que durante o

início do dia não ocorreu, pois, os raios solares não promoveram essa temperatura. A influência do vento sobre os tubos, nesse caso, se mostrou uma variável de grande importância e expressiva atuação sobre o sistema. Os dados permitem inferir que o tubo pintado de preto fosco adquire temperatura e perde temperatura com facilidade. Essa troca de temperatura dos tubos para o meio é exponencial.

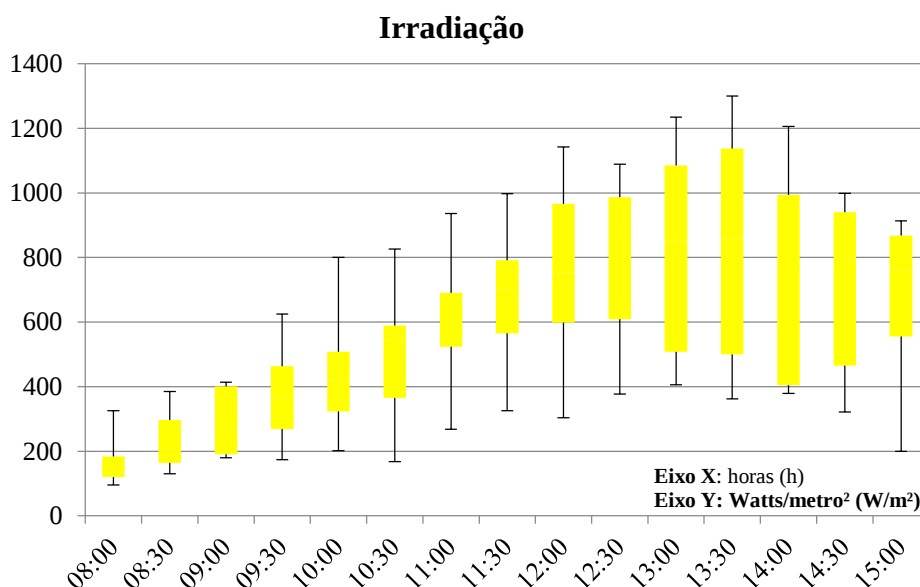
E nas tabelas A21, A22, A23, A24, A25, A26, A27, A28, A29 e A30 citadas no apêndice, os dados são relativos aos experimentos com a estrutura móvel e permitem verificar que os resultados são mais efetivos do que os anteriores, pois com a inclinação da estrutura desde o início do dia, o aproveitamento é maior, uma vez que não depende do aquecimento do tubo para que haja a movimentação. Com isso, é possível concluir que é mais interessante o investimento nos projetos A ou B. Nesses projetos, o sistema é mais autônomo e não depende de qualquer variação climática, pois há uma fonte de armazenamento de energia em sua composição.

6.7 Análise da eficiência

Após a realização dos experimentos e coletas dos dados de acordo com as tabelas citadas no apêndice, foram feitas as análises cabíveis ao estudo proposto para a obtenção dos resultados. Apresenta-se na Figura 15, que em todos os experimentos citados, no início do dia a incidência de irradiação sobre a estrutura é menor devido a posição da estrutura em relação à posição do sol, ou seja, os raios solares têm uma ação rasante sobre a estrutura, pois o ângulo Zenital é muito grande, dificultando assim uma maior absorção dos raios solares por parte da estrutura. A parte amarela central do gráfico apresenta a média da incidência dos raios solares sobre a estrutura fixa de 600 W/m^2 e nas extremidades em preto verificam-se o pico superior de 1200 W/m^2 e inferior de 100 W/m^2 na captação dos raios sobre a estrutura. Os experimentos com a estrutura fixa foram realizados nos dias 06 e 07/02/2021, 27 e 28/02/2021, 03 e 04/04/2021, 15 e 16/05/2021 e 12 e 13/06/2021. Já na segunda parte do dia, somente que na condição inversa, ou seja, na condição poente do Sol. Também demonstra que apesar de ter picos e vales de incidência de irradiação sobre a estrutura a perda da eficiência foi significativa nas duas horas iniciais e na última hora dos experimentos, pois com menor incidência dos raios solares, menor a capacidade de absorção de temperatura do sistema. A irradiação absorvida pelo sistema consegue ultrapassar os 500 W/m^2 somente depois de transcorrido duas horas e meia dos experimentos, com isso o sistema perde uma exponencial capacidade de absorção no início e na última hora dos experimentos o sistema somente ultrapassa os 1.000 W/m^2 em picos de

irradiação, ou seja, não tem uma constância para um melhor aproveitamento. Esse sistema não tem influência da ação do vento, pois sua estrutura é fixa, ou seja, sem nenhum grau de liberdade, por isso que não há citação sobre a temperatura dos tubos e velocidade do vento.

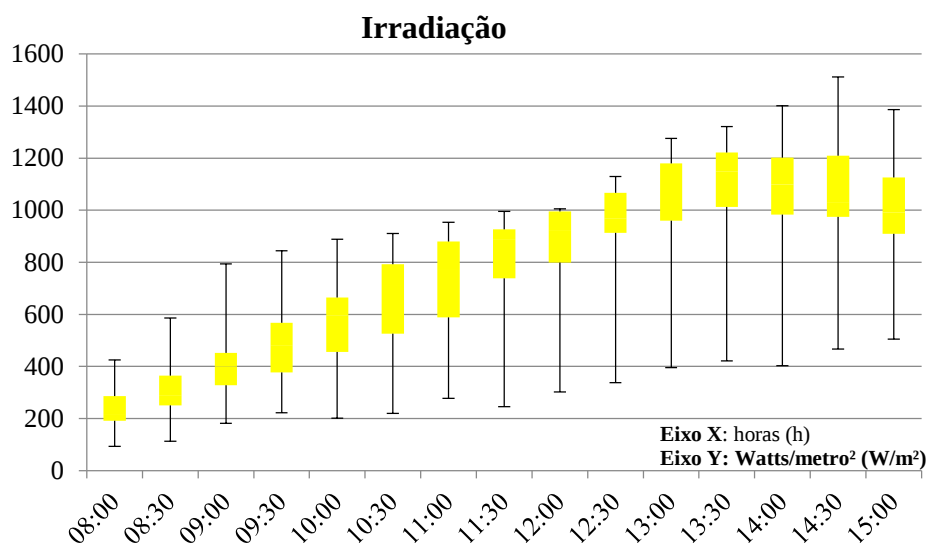
Figura 15. Dados dos experimentos da irradiação na estrutura fixa.



Fonte: Autor

A Figura 16 demonstra os resultados dos experimentos da estrutura móvel, que é uma estrutura com um grau de liberdade, movimento no eixo horizontal, a parte amarela central do gráfico observa-se a média da incidência dos raios solares sobre a estrutura móvel de 850 W/m^2 e a extremidade em preto verifica-se os picos superior de 1500 W/m^2 e inferior de 150 W/m^2 na captação dos raios solares incidentes sobre a estrutura, já demonstrando os ganhos obtidos nesse sistema. Os experimentos com a estrutura móvel foram realizados nos dias 13 e 14/02/2021, 20 e 21/03/2021, 10 e 11/04/2021, 29 e 30/05/2021 e 19 e 20/06/2021. De acordo com a incidência dos raios solares sobre os reservatórios vai absorvendo temperatura e com isso a pressão interna do sistema vai aumentando e fazendo com que a estrutura se incline para o lado do ângulo Zenital de acordo com a posição do Sol. A irradiação solar inicia-se acima dos 200 W/m^2 e os experimentos tiveram um aumento de 300 W/m^2 nas duas primeiras horas do dia, que demorou em torno de 2:30 h para ultrapassar os 500 W/m^2 . Um ganho significativo ficou demonstrado na última hora dos experimentos que ficou constantemente acima dos 1.000 W/m^2 , comprovando assim uma maior absorção de temperatura por parte do sistema.

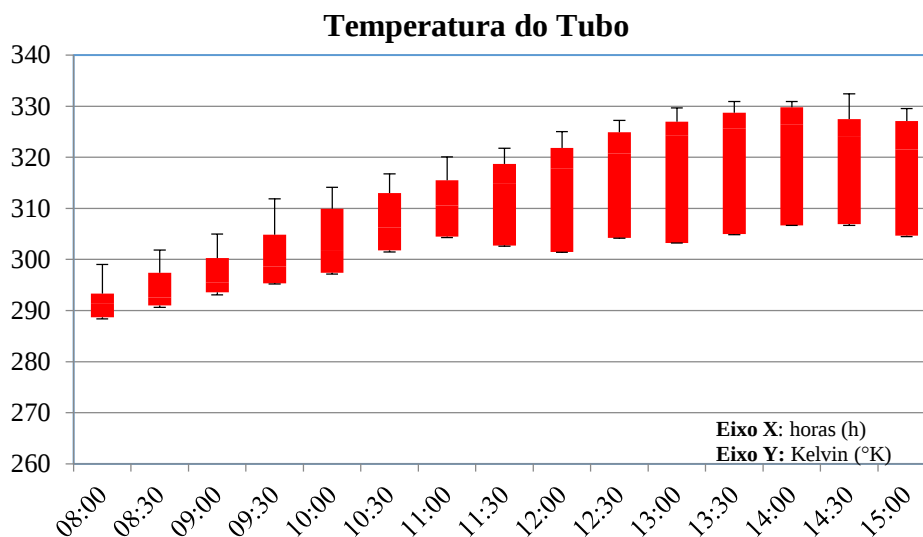
Figura 16. Dados dos experimentos da irradiação na estrutura móvel.



Fonte: Autor

Os experimentos são os mesmos obtidos e citados no gráfico anterior, mas nesse caso foram coletados os parâmetros de temperatura do tubo, de acordo com a Figura 17 a parte em vermelho demonstra a média de temperatura obtida no processo de 313,15° K em preto os picos superiores de 313,15° K e inferior de 288,15° K no aumento e perca de temperatura do tubo para o meio ambiente em função da influência do vento e variação de temperatura durante os experimentos. Na Figura 18, verifica-se que à medida que o tubo vai absorvendo temperatura com o transcorrer dos experimentos a temperatura vai aumentando e com isso variando a pressão do sistema, fazendo com que a estrutura fique inclinada para a posição do Sol, ou seja, diminuindo o ângulo Zenital e aumentando a capacidade de absorção do sistema. Quando a temperatura alcança os 50 °C, a pressão do sistema fica mais constante e com isso o movimento é mais regular e efetivo.

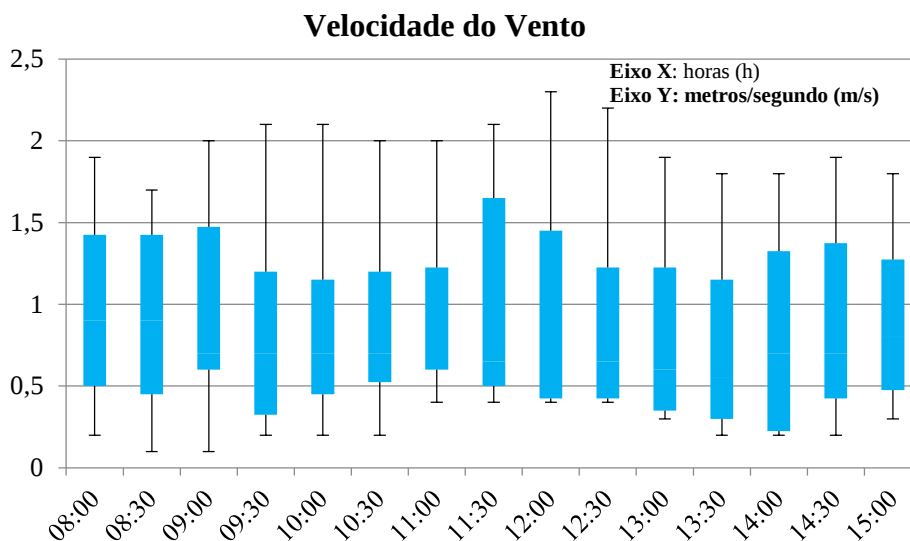
Figura 17. Dados dos experimentos da temperatura do tubo na estrutura móvel.



Fonte: Autor

Na Figura 18 tem a influência do vento sobre o sistema, os experimentos foram realizados nas mesmas datas citadas no experimento da figura 16, a parte azul da figura observa-se a média da variação da velocidade do vento de 1 m/s e a parte preta os picos superiores de 2,3 m/s e inferior de 0,2 m/s no de aumento e diminuição da velocidade do vento. Quanto a velocidade do vento estava acima de 1 m/s, o sistema apresentou uma perda significativa de temperatura acima de 278,15° K. Mesmo com a interferência direta da ação do vento, o sistema se mostrou mais eficiente que a estrutura fixa, citada na primeira parte da análise da eficiência, por isso que não há citação sobre a temperatura dos tubos e velocidade do vento.

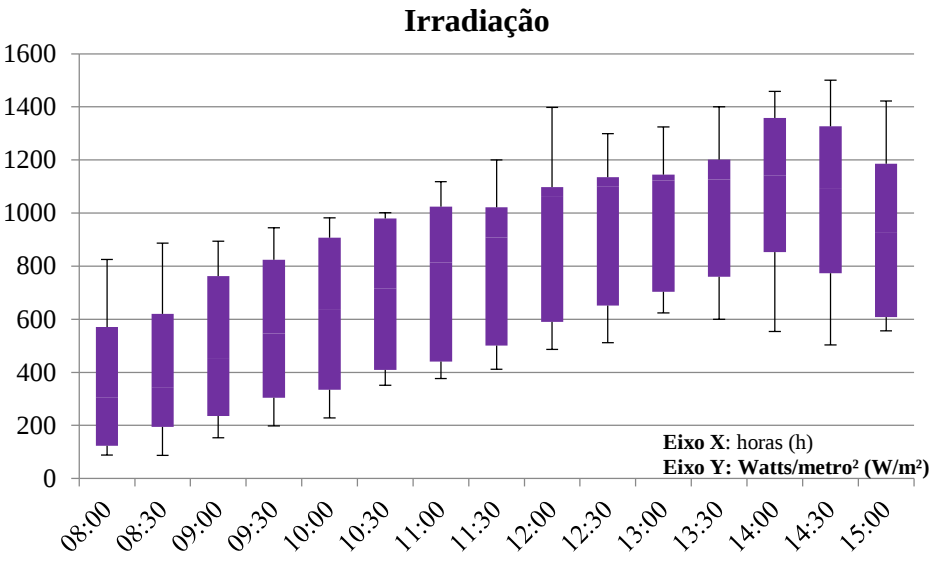
Figura 18. Dados dos experimentos da velocidade do vento na estrutura móvel.



Fonte: Autor

A Figura 19 demonstra uma maior absorção da irradiação em relação a estrutura fixa e móvel, os experimentos foram realizados nos dias 20 e 21/02/2021, 27 e 28/03/2021, 08 e 09/05/2021, 05 e 06/06/2021 e nos dias 26 e 27/06/2021. Verifica-se na parte roxa na figura a média da irradiação solar é de 900 W/m² e a parte preta os picos superiores de 1550 W/m² e inferior de 150 W/m² no aumento e diminuição da captação dos raios absorvidos pelo sistema automatizado. Já no início dos experimentos temos uma irradiação superior a 500 W/m² e que atinge os 1.000 W/m² às 11 horas da manhã, fazendo assim que o sistema tenha uma maior capacidade de absorção por um período de 4 horas no decorrer do dia. Absorção essa citada que está acima de 1.000 W/m². Tendo também picos de até 1.500 W/m² em determinadas situações. Esse sistema não tem influência da ação do vento, pois seu comando de movimento está associado aos raios solares sobre os sensores.

Figura 19. Dados dos experimentos com a estrutura automatizada.



Fonte: Autor

CONCLUSÕES

Após a realização dos procedimentos experimentais, coleta dos dados e análise dos parâmetros do estudo realizados em campo, foi concluído que o sistema automatizado e autônomo é capaz de aumentar a eficiência da captação dos raios solares através desse sistema apresentado de forma mais acessível.

Os dados apresentados sugerem que a variação da temperatura e consequentemente da pressão estão diretamente ligadas à capacidade do tubo (reservatório) de absorver e reter essa temperatura. A estrutura e o sistema propostos foram testados com sucesso em condições reais, porém todos os testes estavam sujeitos às condições e variações climáticas no local do experimento. O sistema descrito também se mostrou mais eficiente em meses com menor incidência dos ventos sobre a estrutura, ou seja, nos meses de: maio, junho, julho, agosto e setembro de 2020. Ao longo desses meses, houve variação no rendimento, porém ainda assim os resultados foram superiores aos obtidos nos demais meses do ano. Os resultados dos testes obtidos em campo estão expressos nas figuras (gráficos) citados, após as análises da eficiência obtida no estudo o ganho real obtido dessa tecnologia foi expressivo, para aplicação real no cotidiano da população.

De acordo com os dados apresentados e suas variações, a estrutura com um grau de liberdade teve um ganho médio variando de 13 a 26% em relação à estrutura tradicionalmente utilizada e encontrada no mercado, que é a estrutura fixa. Obteve – se também picos de até 30% nos dias 20 e 21/02/2021, esse aumento no rendimento justifica o investimento para desenvolver um sistema autônomo. Esse sistema, porém, se mostra sujeito à influência da ação do vento, o que pode ser minimizado com isolamento ou manutenção do tubo (reservatório) enclausurado em vácuo.

Fazendo uma relação de comparação de melhor aproveitamento entre a estrutura automatizada com um grau de liberdade os ganhos foram de 16 a 35 % em relação à estrutura fixa, com picos de até 43% em determinadas condições.

Conclui-se que a autonomia do sistema está diretamente ligada com a incidência dos raios solares e sobre a influência dos ventos sobre a estrutura. Para um melhor aproveitamento desse sistema se dá em um dia ensolarado com irradiação solar de 1.000 W/m^2 e com a velocidade do vento abaixo de $1,0 \text{ m/s}$ a estrutura se move para o lado oposto a posição do sol, com a diferença

de pressão do circuito. Esse sistema é aplicável na zona urbana, mas tendo sua aplicação mais eficiente na zona rural em áreas aonde o acesso à energia elétrica é deficiente ou até mesmo inexistente. De acordo com fabricante dos materiais a pressão máxima ao qual o sistema pode ser submetido é de 1.200.000 Pa, mas a pressão utilizada no sistema foi de 800.000 Pa, ou seja, os materiais aplicados nesse sistema demonstram eficientes, tendo como observação a necessidade da enclausuramento dos tubos (reservatórios) de ar comprimido, com o objetivo de inibir a ação do vento sobre a eficiência do sistema.

Como proposta de trabalho futuro, podem-se realizar os experimentos e estudo do sistema realizando o isolamento dos reservatórios (tubos) da ação do vento, para que haja um aumento ainda mais significativo. Pois esse item demonstrou grande influência e perda de eficiência do sistema.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, W. G.; DAY, R. E. V. **The action of light on selenium**. 1877. Disponível em: royalsocietypublishing.org Acesso em: 08 jun. 2020.
- ALVES, J. J. A. Análise regional da energia eólica no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, SP, v. 6, n. 1, 2010. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/266> Acesso em: 08 jun. 2020.
- BECQUEREL, M. E. Mémoire sur les effets électriques produits sous l'influence des rayons solaires. **Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences**, v. 9, p. 561-567, 1839. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q_ Acesso em: 08 jun. 2020.
- CAMPOS, M. C. V. **Estudo dos ácidos naftênicos do gasóleo pesado derivado do petróleo marlim**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5725>. Acesso em: 08 jun. 2020.
- CARVALHO, J. F. de. Energia e sociedade. **Estudos avançados**, São Paulo, v. 28, p. 25-39, 2014. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar> Acesso em: 08 jun. 2020.
- CASTAÑEDA, C. E. F. **Desenvolvimento de um rastreador solar passivo por transferência de massa**. 2011. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) – INSTITUTO LACTEC, Curitiba – SC, 2011.
- CASTELLANO, N. N. *et al.* Deslocamento ideal das linhas da matriz fotovoltaica usando um novo modelo de sombreamento. **Energia Aplicada**, v. 144, p. 1-9, 2015.
- CAVALLI, F. V. Estudo sobre tecnologias em veículos elétricos: um review. *In*: INTERNATIONAL SODEBRA CONGRESS, 16., 2019, Maceió. **Anais [...]**. Maceió, 2019.
- CHANG, T. P. Energia de saída de um módulo fotovoltaico montado em um sistema de rastreamento de eixo único. **Energia aplicada**, v. 86, n. 10, p. 2071-2078, 2009.
- CLEMENTE, J. S. *et al.* Uma revisão da ocorrência, análises, toxicidade e biodegradação dos ácidos naftênicos. **Chemosphere**, v. 60, n. 5, p. 585-600, 2005.
- COELHO, J. F. M. **Energia nuclear: história, usos, benefícios e malefícios na humanidade**. Ananindeua – PA: Ananindeua, 2004. Disponível em: https://scholar.google.com/scholar?hl_ Acesso em: 08 jun. 2020.
- CORTEZ, R. J. M. **Sistema de seguimento solar em produção de energia fotovoltaica**. 2012. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia do Porto/FEUP, Porto, 2012. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/72632/1/000157958.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.
- CUCCHIELLA, F. *et al.* Análise ambiental e econômica da construção de sistemas

fotovoltaicos integrados em regiões italianas. **Journal of Cleaner Production**, v. 98, p. 241-252, 2015.

DARWIN, C. **A origem do homem e a seleção sexual**. São Paulo: Hermus, 1974.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf. Acesso em: 08 jun. 2020.

EKSTRÖM, J. *et al.* Uma abordagem estatística para modelagem de geração de energia fotovoltaica de hora em hora com locais de geração sem dados medidos. **Energia Solar**, v. 132, p. 173-187, 2016.

FATHABADI, H. Novo sistema de rastreamento solar de eixo duplo sem sensores de alta precisão controlado pela unidade de rastreamento de ponto de potência máxima de sistemas fotovoltaicos. **Energia Aplicada**, v. 173, p. 448-459, 2016.

GRUBER, L. D. A. *et al.* Ácidos naftênicos no petróleo. **Química nova**, v. 35, n. 7, p. 1423-1433, 2012.

HAROUN, R. *et al.* Correspondência de impedância em sistemas fotovoltaicos usando conversores boost em cascata e controle de modo deslizante. **Transações IEEE em eletrônica de potência**, v. 30, n. 6, p. 3185-3199, 2014

HÉMERY, D. *et al.* **Uma história da energia**. Brasília: Universidade de Brasília, 1993. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB – **Irradiação solar**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br>. Acesso em: 20 maio 2021.

KAHOUL, N. *et al.* Um simulador abrangente para avaliar a confiabilidade de um sistema de rastreamento de potência de pico de painel fotovoltaico. **Fronteiras em Energia**, v. 9, n. 2, p. 170-179, 2015.

LUNA, F. M. **Desenvolvimento e testes de um dessalinizador solar com pré-aquecimento de água**. 2016. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/11645>. Acesso em: 20 jun. 2021.

MAATALLAH, T. *et al.* Modelagem de desempenho e investigação de painel fotovoltaico de rastreamento de eixo único e duplo na cidade de Monastir, Tunísia. **Revisões de Energia Renovável e Sustentável**, v. 15, n. 8, p. 4053-4066, 2011.

MASSON, V. *et al.* Os painéis solares reduzem o aquecimento global e a ilha de calor urbana. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, p. 14, 2014.

OLIVEIRA, M. M. **Análise do desempenho de um gerador fotovoltaico com seguidor solar azimutal**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pelotas. 2008. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/14737>. Acesso em: 20 jun. 2021.

OLIVEIRA, O. G. *et al.* Energia solar: um passo para o crescimento. **Regrad: Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM**, v. 10, n. 01, p. 377-389, 2017.

PINTO, A. *et al.* Descrição de seguidores solares e sua aplicação em centrais fotovoltaicas conectadas à rede. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR-CBENS 3.*, 2010, Pará. **Anais [...]**. Pará, 2010. Disponível em: <https://www.efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/viewer.html?pdfurl>. Acesso em: 20 jun. 2021.

RAJAEI, M.; GHORASHI, S. M. B. Medições experimentais de um protótipo de lente Fresnel de alta concentração e método de rastreamento do sol para aumento da eficiência do painel fotovoltaico. **Journal of Theoretical and Applied Physics**, v. 9, n. 4, p. 251-259, 2015.

RANGANATHAN, R. *et al.* Algoritmo de rastreamento solar adaptável para maximização da energia incidente e melhoria da eficiência de painéis fotovoltaicos. **Energia renovável**, v. 36, n. 10, p. 2623-2626, 2011.

SILVA, F. B. F. **Automatização da captação de raios solares para sistemas fotovoltaicos através do mapeamento da trajetória do sol**. 2019. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Energia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba. 2019. Disponível em <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4662>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SILVA, M.C. da C. **Estudo comparativo de um painel solar fotovoltaico fixo v.s. móvel**. 2012. Tese (Doutorado em Construção e Reabilitação Sustentáveis) – Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Braga - Portugal, 2012. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/161>. Acesso em: 20 jun. 2021.

SUNGUR, C. Sistema multi-eixos de rastreamento solar com controle plc para painéis fotovoltaicos na Turquia. **Energia renovável**, v. 34, n. 4, p. 1119-1125, 2009.

TESSMER, H. Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem. **Revista Liberato**, v. 3, n. 3, 2002.

THOMAS, J. E. *et al.* **Fundamentos de engenharia de petróleo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, v. 1, n. 2, p. 17, 2006.

VIEIRA, R. G. **Análise comparativa do desempenho entre um painel solar estático e com rastreamento no município de Mossoró-RN**. 2014. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Comunicação e Automação) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/tede/519>. Acesso em: 10 out. 2021.

APÊNDICE

APÊNDICE A 1 - Dados do experimento 1: estrutura fixa

Estudo de Campo – 06/02/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	223,8 W/m ²	19,3°C	0,7 m/s	0°	Nublado
08h30min	335,9 W/m ²	20,2°C	0,7 m/s	0°	Nublado
09h00min	401,3 W/m ²	20,4°C	1,0 m/s	0°	Nublado
09h30min	414,7 W/m ²	20,9°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h00min	467,2 W/m ²	21,5°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h30min	455,9 W/m ²	22,8°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h00min	515,9 W/m ²	23,7°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h30min	525,7 W/m ²	26,9°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h00min	588,0 W/m ²	28,9°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h30min	618,6 W/m ²	31,9°C	1,0 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h00min	533,2 W/m ²	30,7°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h30min	489,5 W/m ²	28,6°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h00min	389,1 W/m ²	27,2°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h30min	321,8 W/m ²	24,5°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
15h00min	199,7 W/m ²	22,8°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 2 - Dados do experimento 2: estrutura fixa

Estudo de Campo – 07/02/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	325,3 W/m ²	18,2°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
08h30min	385,3 W/m ²	22,1°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09h00min	400,9 W/m ²	25,4°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09h30min	479,3 W/m ²	28,4°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10h00min	521,76 W/m ²	31,5°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10h30min	714,5 W/m ²	33,7°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h00min	769,8 W/m ²	34,3°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h30min	844,9 W/m ²	36,9°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h00min	1.142,5 W/m ²	39,0°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h30min	1.089,3 W/m ²	44,8°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h00min	1.111,8 W/m ²	47,3°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h30min	1077,1 W/m ²	49,5°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	996,3 W/m ²	48,6°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	953,4 W/m ²	47,9°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
15h00min	913,2 W/m ²	45,3 °C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 3 - Dados do experimento 3: estrutura fixa

Estudo de Campo – 27/02/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	166,9 W/m ²	15,3°C	1,0 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
08h30min	188,7 W/m ²	17,4 °C	1,0 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h00min	196,8 W/m ²	18,7 °C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h30min	235,8 W/m ²	22,2 °C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h00min	398,0 W/m ²	29,9 °C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10h30min	554,9 W/m ²	33,8 °C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h00min	611,6 W/m ²	35,9 °C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h30min	700,8 W/m ²	37,6 °C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h00min	734,6 W/m ²	33,5 °C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h30min	811,4 W/m ²	30,0 °C	1,0 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h00min	700,8 W/m ²	32,9 °C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h30min	639,7 W/m ²	36,5 °C	1,1 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	599,9 W/m ²	37,8 °C	1,1 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	777,5 W/m ²	39,0 °C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
15h00min	867,5 W/m ²	41,1 °C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 4 - Dados do experimento 4: estrutura fixa

Estudo de Campo – 28/02/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	106,7 W/m ²	15,2°C	2,3 m/s	0°	Nublado
08h30min	134,9 W/m ²	15,9°C	2,1 m/s	0°	Nublado
09h00min	188,2 W/m ²	15,4°C	2,3 m/s	0°	Nublado
09h30min	173,4 W/m ²	16,1°C	1,9 m/s	0°	Nublado
10h00min	201,5 W/m ²	15,7°C	1,9 m/s	0°	Nublado
10h30min	167,9 W/m ²	16,2°C	1,5 m/s	0°	Nublado
11h00min	267,8 W/m ²	15,8°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h30min	331,2 W/m ²	15,6°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h00min	400,5 W/m ²	16,1°C	2,1 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h30min	384,3 W/m ²	16,7°C	2,0 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h00min	411,2 W/m ²	15,9°C	2,2 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h30min	362,5 W/m ²	14,8°C	2,2 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h00min	423,6 W/m ²	15,2°C	2,4 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h30min	486,7 W/m ²	15,6°C	2,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
15h00min	555,9 W/m ²	16,1°C	2,4 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 5 - Dados do experimento 5: estrutura fixa

Estudo de Campo – 03/04/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08:00	124,8 W/m ²	21,4 °C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
08:30	287,9 W/m ²	24,7 °C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09:00	413,5 W/m ²	28,3 °C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09:30	498,7 W/m ²	31,7 °C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10:00	560,8 W/m ²	34,9 °C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10:30	600,3 W/m ²	37,8 °C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11:00	715,8 W/m ²	40,9 °C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11:30	799,5 W/m ²	43,8 °C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12:00	877,4 W/m ²	45,9 °C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12:30	940,6 W/m ²	48,6 °C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13:00	999,9 W/m ²	51,0 °C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13:30	1.115,6 W/m ²	54,2 °C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
14:00	935,2 W/m ²	52,1 °C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
14:30	899,2 W/m ²	48,9 °C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
15:00	834,6 W/m ²	46,4 °C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 6 - Dados do experimento 6: estrutura fixa

Estudo de Campo – 04/04/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	135,1 W/m ²	14,1°C	1,4 m/s	0°	Nublado
08h30min	155,7 W/m ²	14,7°C	1,3 m/s	0°	Nublado
09h00min	179,9 W/m ²	15,5°C	1,3 m/s	0°	Nublado
09h30min	355,8 W/m ²	15,8°C	1,4 m/s	0°	Nublado
10h00min	299,3 W/m ²	15,3°C	1,5 m/s	0°	Nublado
10h30min	329,6 W/m ²	16,4°C	1,5 m/s	0°	Nublado
11h00min	545,9 W/m ²	16,9°C	1,5 m/s	0°	Nublado
11h30min	700,1 W/m ²	17,8°C	1,2 m/s	0°	Nublado
12h00min	630,4 W/m ²	18,3°C	1,1 m/s	0°	Nublado
12h30min	605,5 W/m ²	19,1°C	0,9 m/s	0°	Nublado
13h00min	499,8 W/m ²	19,7°C	0,8 m/s	0°	Nublado
13h30min	529,7 W/m ²	20,3°C	1,1 m/s	0°	Nublado
14h00min	378,9 W/m ²	21,0°C	1,1 m/s	0°	Nublado
14h30min	458,2 W/m ²	21,7°C	1,2 m/s	0°	Nublado
15h00min	601,4 W/m ²	22,3 °C	1,1 m/s	0°	Nublado

Fonte: Autor

APÊNDICE A 7- Dados do experimento 7: estrutura fixa

Estudo de Campo – 15/05/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	188,7 W/m ²	16,9°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
08h30min	200,5 W/m ²	18,0°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h00min	220,7 W/m ²	18,8°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h30min	339,7 W/m ²	19,6°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h00min	418,7 W/m ²	22,1°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h30min	555,9 W/m ²	26,6°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h00min	615,4 W/m ²	30,1°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h30min	768,9 W/m ²	35,7°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h00min	995,4 W/m ²	38,5°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h30min	1.000,8 W/m ²	39,8°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h00min	1.234,7 W/m ²	42,4°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h30min	1.299,7 W/m ²	44,6°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h00min	1.205,6 W/m ²	45,7°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h30min	998,6 W/m ²	43,6°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
15h00min	901,6 W/m ²	41,5°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 8 - Dados do experimento 8: estrutura fixa

Estudo de Campo – 16/05/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	95,3 W/m ²	15,2°C	1,9 m/s	0°	Nublado
08h30min	130,5 W/m ²	16,5°C	1,8 m/s	0°	Nublado
09h00min	188,4 W/m ²	17,8°C	1,8 m/s	0°	Nublado
09h30min	245,8 W/m ²	17,3°C	1,9 m/s	0°	Nublado
10h00min	293,7 W/m ²	17,9°C	1,9 m/s	0°	Nublado
10h30min	334,9 W/m ²	17,1°C	2,2 m/s	0°	Nublado
11h00min	376,8 W/m ²	16,2°C	2,4 m/s	0°	Nublado
11h30min	325,7 W/m ²	16,8°C	1,7 m/s	0°	Nublado
12h00min	304,1 W/m ²	16,4°C	1,9 m/s	0°	Nublado
12h30min	377,4 W/m ²	17,2°C	1,9 m/s	0°	Nublado
13h00min	405,7 W/m ²	16,7°C	2,0 m/s	0°	Nublado
13h30min	425,7 W/m ²	16,9°C	2,2 m/s	0°	Nublado
14h00min	398,3 W/m ²	17,3°C	1,8 m/s	0°	Nublado
14h30min	355,7 W/m ²	18,0°C	1,9 m/s	0°	Nublado
15h00min	315,4 W/m ²	17,6°C	1,9 m/s	0°	Nublado

Fonte: Autor

APÊNDICE A 9 - Dados do experimento 9: estrutura móvel

Estudo de Campo – 12/06/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	135,2 W/m ²	19,9°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
08h30min	299,4 W/m ²	25,4°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09h00min	406,8 W/m ²	26,7°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09h30min	624,5 W/m ²	28,9°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10h00min	800,1 W/m ²	31,8°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10h30min	826,5 W/m ²	34,2°C	1,1 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h00min	935,7 W/m ²	36,8°C	1,1 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h30min	997,6 W/m ²	39,9°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h00min	1.000,3 W/m ²	45,1°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h30min	1.067,9 W/m ²	47,8°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h00min	1.156,6 W/m ²	49,9°C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h30min	1.254,9 W/m ²	54,1°C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	1.305,4 W/m ²	54,7°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	1.284,6 W/m ²	57,9°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
15h00min	1.188,7 W/m ²	55,5°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 10 - Dados do experimento 10: estrutura fixa

Estudo de Campo – 13/06/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	119,4 W/m ²	19,2°C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
08h30min	199,8 W/m ²	22,1°C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
09h00min	300,0 W/m ²	25,6°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
09h30min	366,3 W/m ²	29,7°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
10h00min	420,8 W/m ²	33,9°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
10h30min	537,1 W/m ²	37,4°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
11h00min	600,7 W/m ²	40,1°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
11h30min	684,2 W/m ²	43,9°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
12h00min	773,8 W/m ²	46,8°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
12h30min	945,2 W/m ²	47,1°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
13h00min	1.002,7 W/m ²	48,5°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
13h30min	1.144,7 W/m ²	54,7°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
14h00min	1.185,7 W/m ²	55,8°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
14h30min	1.115,6 W/m ²	52,9°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
15h00min	1.099,8 W/m ²	51,3°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 11 - Dados do experimento 1: estrutura móvel

Estudo de Campo – 13/02/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	288,1 W/m ²	15,2°C	1,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
08h30min	366,7 W/m ²	17,4°C	1,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
09h00min	399,8 W/m ²	20,1°C	1,6 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
09h30min	500,7 W/m ²	21,3°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
10h00min	578,5 W/m ²	23,1°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
10h30min	686,0 W/m ²	28,2°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
11h00min	702,1 W/m ²	31,2°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
11h30min	861,4 W/m ²	31,5°C	1,9 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
12h00min	899,3 W/m ²	33,1°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
12h30min	952,7 W/m ²	36,9°C	1,4 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
13h00min	1.097,9 W/m ²	38,2°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
13h30min	1.138,9 W/m ²	40,8°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
14h00min	1.077,3 W/m ²	41,1°C	1,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
14h30min	999,7 W/m ²	39,7°C	1,6 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
15h00min	994,2 W/m ²	37,9°C	1,4 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 12 - Dados do experimento 2: estrutura móvel

Estudo de Campo – 14/02/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	325,4 W/m ²	16,5°C	1,2 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
08h30min	445,7 W/m ²	19,1°C	1,2 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
09h00min	533,8 W/m ²	21,4°C	1,1 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
09h30min	614,3 W/m ²	24,9°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
10h00min	781,6 W/m ²	28,3°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
10h30min	805,6 W/m ²	32,8°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
11h00min	899,9 W/m ²	36,4°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h30min	920,8 W/m ²	39,8°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h00min	942,1 W/m ²	42,1°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h30min	978,0 W/m ²	45,3°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h00min	1.002,3 W/m ²	48,6°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h30min	1.094,3 W/m ²	50,3°C	0,5 m/s	1° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	1.119,9 W/m ²	53,3°C	0,6 m/s	2° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	1.100,2 W/m ²	52,7°C	0,7 m/s	3° para o Sul	Ensolarado, com poucas nuvens
15h00min	988,7 W/m ²	49,9°C	0,9 m/s	2° para o Sul	Ensolarado, com poucas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 13 - Dados do experimento 3: estrutura móvel

Estudo de Campo – 20/03/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	425,4 W/m ²	18,7°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
08h30min	586,5 W/m ²	25,3°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09h00min	793,2 W/m ²	31,8°C	0,1 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09h30min	844,1 W/m ²	38,7°C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10h00min	888,3 W/m ²	41,0°C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10h30min	910,5 W/m ²	43,6°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h00min	953,8 W/m ²	46,9°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h30min	994,9 W/m ²	48,6°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h00min	1.005,1 W/m ²	51,9°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h30min	1.110,2 W/m ²	54,1°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h00min	1.136,4 W/m ²	55,6°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h30min	1.157,2 W/m ²	57,1°C	0,7 m/s	2° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	1.188,6 W/m ²	56,8°C	0,8 m/s	3° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	1.058,1 W/m ²	52,5°C	0,7 m/s	5° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
15h00min	1.003,8 W/m ²	48,9°C	0,7 m/s	4° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 14 - Dados do experimento 4: estrutura móvel

Estudo de Campo – 21/03/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08:00	235,8 W/m ²	20,7°C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
08:30	356,9 W/m ²	24,1°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09:00	468,3 W/m ²	24,9°C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09:30	584,9 W/m ²	29,5°C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10:00	664,5 W/m ²	32,0°C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10:30	800,9 W/m ²	36,8°C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11:00	889,6 W/m ²	40,2°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11:30	928,4 W/m ²	43,8°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12:00	1.000,9 W/m ²	47,1°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12:30	1.129,6 W/m ²	49,9°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13:00	1.275,9 W/m ²	53,7°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13:30	1.320,6 W/m ²	55,8°C	0,3 m/s	2° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14:00	1.400,9 W/m ²	57,8°C	0,2 m/s	4° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14:30	1.511,7 W/m ²	59,3°C	0,2 m/s	6° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
15:00	1.386,4 W/m ²	56,4°C	0,8 m/s	4° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 15 - Dados do experimento 5: estrutura móvel

Estudo de Campo – 10/04/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	100,8 W/m ²	18,2°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
08h30min	142,9 W/m ²	19,5°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h00min	186,3 W/m ²	22,2°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h30min	221,8 W/m ²	25,1°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h00min	334,6 W/m ²	27,8°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h30min	394,5 W/m ²	29,9°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h00min	425,6 W/m ²	31,8°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h30min	400,2 W/m ²	28,9°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h00min	375,9 W/m ²	26,7°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h30min	453,6 W/m ²	29,1°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h00min	502,8 W/m ²	27,4°C	1,0 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h30min	525,6 W/m ²	28,8°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h00min	653,9 W/m ²	31,0°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h30min	734,6 W/m ²	31,8°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
15h00min	599,6 W/m ²	29,4°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 16 - Dados do experimento 6: estrutura móvel

Estudo de Campo – 11/04/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	280,3 W/m ²	18,1°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
08h30min	305,3 W/m ²	19,3°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09h00min	397,8 W/m ²	22,4°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
09h30min	457,5 W/m ²	25,9°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10h00min	611,3 W/m ²	29,1°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
10h30min	731,5 W/m ²	33,3°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h00min	837,8 W/m ²	38,4°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h30min	933,3 W/m ²	44,5°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h00min	998,7 W/m ²	49,6°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h30min	1.000,2 W/m ²	53,9°C	0,4 m/s	1° para o sul	Ensolarado, sem nuvens
13h00min	1.193,4 W/m ²	56,5°C	0,3 m/s	1° para o sul	Ensolarado, sem nuvens
13h30min	1.233,5 W/m ²	57,8°C	0,3 m/s	3° para o sul	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	1.069,4 W/m ²	53,4°C	0,3 m/s	3° para o sul	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	1.002,7 W/m ²	49,5°C	0,5 m/s	2° para o sul	Ensolarado, sem nuvens
15h00min	981,5 W/m ²	47,9°C	0,4 m/s	2° para o sul	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 17 - Dados do experimento 7: estrutura móvel

Estudo de Campo – 29/05/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	199,4 W/m ²	14,9°C	1,6 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
08h30min	245,3 W/m ²	16,1°C	1,6 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h00min	307,2 W/m ²	16,8°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h30min	354,1 W/m ²	17,6°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h00min	422,8 W/m ²	18,3°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h30min	489,7 W/m ²	18,8°C	1,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h00min	551,2 W/m ²	19,2°C	1,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h30min	721,3 W/m ²	19,3°C	2,1 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h00min	785,0 W/m ²	19,1°C	2,3m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h30min	900,3 W/m ²	19,0°C	2,2 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h00min	945,7 W/m ²	19,7°C	1,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h30min	985,8 W/m ²	20,1°C	1,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h00min	954,7 W/m ²	22,3°C	1,6 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
14h30min	966,3 W/m ²	23,8°C	1,8 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
15h00min	885,3 W/m ²	24,5°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 18 - Dados do experimento 8: estrutura móvel

Estudo de Campo – 30/05/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	199,5 W/m ²	25,9 °C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
08h30min	275,3 W/m ²	28,7 °C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h00min	389,2 W/m ²	30,1 °C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
09h30min	443,7 W/m ²	33,9 °C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h00min	555,7 W/m ²	39,5 °C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
10h30min	635,6 W/m ²	41,8 °C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h00min	700,9 W/m ²	44,6 °C	1,0 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h30min	789,2 W/m ²	46,7 °C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h00min	837,5 W/m ²	48,3 °C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h30min	956,8 W/m ²	51,4 °C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h00min	1.000,7 W/m ²	53,9 °C	0,3 m/s	1° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
13h30min	1.186,3 W/m ²	54,6 °C	0,2 m/s	1° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	1.206,7 W/m ²	56,8 °C	0,2 m/s	3° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	1.299,6 W/m ²	57,4 °C	0,3 m/s	3° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
15h00min	1.166,7 W/m ²	55,9 °C	0,3 m/s	2° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 19 - Dados do experimento 9: estrutura fixa

Estudo de Campo – 19/06/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	92,7 W/m ²	15,1 °C	1,9 m/s	0°	Nublado
08h30min	112,3 W/m ²	15,6 °C	1,7 m/s	0°	Nublado
09h00min	181,1 W/m ²	16,0 °C	2,0 m/s	0°	Nublado
09h30min	222,6 W/m ²	15,7 °C	2,1 m/s	0°	Nublado
10h00min	200,7 W/m ²	15,3 °C	2,1 m/s	0°	Nublado
10h30min	219,8 W/m ²	15,5 °C	2,0 m/s	0°	Nublado
11h00min	277,9 W/m ²	15,1 °C	2,0 m/s	0°	Nublado
11h30min	245,6 W/m ²	14,8 °C	2,1 m/s	0°	Nublado
12h00min	301,9 W/m ²	15,2 °C	1,9 m/s	0°	Nublado
12h30min	337,8 W/m ²	16,0 °C	1,7 m/s	0°	Nublado
13h00min	395,2 W/m ²	15,8 °C	1,9 m/s	0°	Nublado
13h30min	421,5 W/m ²	15,6 °C	1,8 m/s	0°	Nublado
14h00min	403,2 W/m ²	16,7 °C	1,8 m/s	0°	Nublado
14h30min	466,8 W/m ²	17,2 °C	1,9 m/s	0°	Nublado
15h00min	505,1 W/m ²	16,6 °C	1,8 m/s	0°	Nublado

Fonte: Autor

APÊNDICE A 20 - Dados do experimento 10: estrutura móvel

Estudo de Campo – 20/06/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	188,5 W/m ²	21,1 °C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
08h30min	264,3 W/m ²	24,3 °C	0,1 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
09h00min	400,9 W/m ²	27,9 °C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
09h30min	515,7 W/m ²	32,4 °C	0,2 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
10h00min	664,5 W/m ²	38,4 °C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
10h30min	767,6 W/m ²	40,9 °C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
11h00min	850,9 W/m ²	43,1 °C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
11h30min	909,9 W/m ²	45,9 °C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
12h00min	984,6 W/m ²	48,8 °C	0,4 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
12h30min	1.088,3 W/m ²	51,9 °C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h00min	1.198,7 W/m ²	53,5 °C	0,3 m/s	2° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
13h30min	1.286,7 W/m ²	54,8 °C	0,3 m/s	2° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	1.375,3 W/m ²	56,1 °C	0,2 m/s	4° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	1.246,3 W/m ²	54,9 °C	0,4 m/s	3° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
15h00min	1.215,6 W/m ²	55,3 °C	0,3 m/s	3° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 21 - Dados do experimento 1: estrutura automatizada

Estudo de Campo – 20/02/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	825,3 W/m ²	18,0°C	0,8 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
08h30min	886,3 W/m ²	34,5°C	0,9 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
09h00min	893,7 W/m ²	36,2°C	0,6 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
09h30min	944,2 W/m ²	39,8°C	0,6 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
10h00min	981,6 W/m ²	41,2°C	0,7 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
10h30min	1.000,1 W/m ²	45,6°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado
11h00min	1.033,9 W/m ²	49,8°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado
11h30min	1.049,1 W/m ²	52,9°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado
12h00min	1.075,6 W/m ²	48,3°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado
12h30min	1.120,8 W/m ²	54,8°C	0,4 m/s	0°	Ensolarado
13h00min	1.123,4 W/m ²	57,6°C	0,4 m/s	15° para o Sul	Ensolarado
13h30min	1.118,2 W/m ²	57,1°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado
14h00min	1.113,6 W/m ²	56,8°C	0,9 m/s	15° para o Sul	Ensolarado
14h30min	1.088,7 W/m ²	52,5°C	1,1 m/s	15° para o Sul	Ensolarado
15h00min	1.016,9 W/m ²	48,9°C	1,1 m/s	15° para o Sul	Ensolarado

Fonte: Autor

APÊNDICE A 22 - Dados do experimento 2 - estrutura automatizada

Estudo de Campo – 21/02/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	725,6 W/m ²	19,3°C	1,1 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
08h30min	836,1 W/m ²	30,1°C	1,1 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
09h00min	877,4 W/m ²	31,3°C	1,0 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
09h30min	899,9 W/m ²	33,8°C	1,0 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
10h00min	915,7 W/m ²	34,8°C	1,0 m/s	15° para o Norte	Ensolarado
10h30min	958,3 W/m ²	37,7°C	1,1 m/s	0°	Ensolarado
11h00min	993,4 W/m ²	43,6°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado
11h30min	1.015,1 W/m ²	49,8°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado
12h00min	1.089,6 W/m ²	52,8°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado
12h30min	1.133,8 W/m ²	56,9°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado
13h00min	1.144,4 W/m ²	58,1°C	0,5 m/s	15° para o Sul	Ensolarado
13h30min	1.178,2 W/m ²	56,8°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado
14h00min	1.120,3 W/m ²	54,2°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado
14h30min	1.117,3 W/m ²	52,9°C	0,8 m/s	15° para o Sul	Ensolarado
15h00min	1.109,1 W/m ²	49,8°C	1,0 m/s	15° para o Sul	Ensolarado

Fonte: Autor

APÊNDICE A 23 - Dados do experimento 3: estrutura automatizada

Estudo de Campo – 27/03/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08:00	318,9 W/m ²	22,7°C	0,5 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
08:30	477,9 W/m ²	27,3°C	0,3 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
09:00	650,3 W/m ²	29,7°C	0,3 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
09:30	715,2 W/m ²	32,0°C	0,7 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
10:00	880,4 W/m ²	35,4°C	0,2 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
10:30	1.000,8 W/m ²	36,9°C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11:00	1.117,9 W/m ²	38,0°C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11:30	1.200,7 W/m ²	42,7°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12:00	1.397,8 W/m ²	46,5°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12:30	1.267,4 W/m ²	50,4°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13:00	1.124,3 W/m ²	53,6°C	0,2 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
13:30	1.209,7 W/m ²	54,7°C	0,1 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14:00	1.337,8 W/m ²	55,9°C	0,3 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14:30	1.397,3 W/m ²	53,7°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
15:00	1.415,7 W/m ²	41,8°C	0,9 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 24 - Dados do experimento 4 - estrutura automatizada

Estudo de Campo – 28/03/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	318,9 W/m ²	22,7°C	0,5 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
08h30min	477,9 W/m ²	27,3°C	0,3 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
09h00min	650,3 W/m ²	29,7°C	0,3 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
09h30min	715,2 W/m ²	32,0°C	0,7 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
10h00min	880,4 W/m ²	35,4°C	0,2 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
10h30min	1.000,8 W/m ²	36,9°C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h00min	1.117,9 W/m ²	38,0°C	0,3 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h30min	1.200,7 W/m ²	42,7°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h00min	1.397,8 W/m ²	46,5°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h30min	1.267,4 W/m ²	50,4°C	0,5 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h00min	1.124,3 W/m ²	53,6°C	0,2 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
13h30min	1.009,7 W/m ²	52,7°C	0,1 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	1.137,8 W/m ²	53,9°C	0,3 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	997,3 W/m ²	51,7°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
15h00min	915,7 W/m ²	48,8°C	0,9 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 25 - Dados do experimento 5: estrutura automatizada

Estudo de Campo – 08/05/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	188,3 W/m ²	19,1°C	0,8 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com poucas nuvens
08h30min	205,8 W/m ²	22,7°C	0,7 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com poucas nuvens
09h00min	267,9 W/m ²	23,9°C	0,7 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com poucas nuvens
09h30min	300,8 W/m ²	25,7°C	0,9 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com poucas nuvens
10h00min	355,3W/m ²	28,4°C	0,9 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com poucas nuvens
10h30min	483,7W/m ²	30,1°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
11h00min	515,6 W/m ²	33,7°C	1,5 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
11h30min	500,7 W/m ²	35,2°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
12h00min	586,7 W/m ²	34,8°C	1,1 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
12h30min	611,8 W/m ²	38,1°C	1,1 m/s	0°	Ensolarado, com poucas nuvens
13h00min	902,8 W/m ²	39,9°C	0,9 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com poucas nuvens
13h30min	985,6 W/m ²	42,8°C	0,8 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com poucas nuvens
14h00min	1.165,6 W/m ²	43,7°C	0,4 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com poucas nuvens
14h30min	1.098,5 W/m ²	40,5°C	0,4 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com poucas nuvens
15h00min	999,7 W/m ²	45,5°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com poucas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 26 - Dados do experimento 6: estrutura automatizada

Estudo de Campo – 09/05/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	188,3 W/m ²	19,1°C	0,8 m/s	15° para o Norte	Nublado
08h30min	205,8 W/m ²	22,7°C	0,7 m/s	15° para o Norte	Nublado
09h00min	267,9 W/m ²	23,9°C	0,7 m/s	15° para o Norte	Nublado
09h30min	300,8 W/m ²	25,7°C	0,9 m/s	15° para o Norte	Nublado
10h00min	355,3W/m ²	28,4°C	0,9 m/s	15° para o Norte	Nublado
10h30min	483,7W/m ²	30,1°C	0,9 m/s	0°	Nublado
11h00min	515,6 W/m ²	33,7°C	1,5 m/s	0°	Nublado
11h30min	500,7 W/m ²	35,2°C	1,3 m/s	0°	Nublado
12h00min	586,7 W/m ²	34,8°C	1,1 m/s	0°	Nublado
12h30min	611,8 W/m ²	38,1°C	1,1 m/s	0°	Nublado
13h00min	902,8 W/m ²	39,9°C	0,9 m/s	15° para o Sul	Nublado
13h30min	985,6 W/m ²	42,8°C	0,8 m/s	15° para o Sul	Nublado
14h00min	1.165,6 W/m ²	43,7°C	0,4 m/s	15° para o Sul	Nublado
14h30min	1.098,5 W/m ²	40,5°C	0,4 m/s	15° para o Sul	Nublado
15h00min	999,7 W/m ²	45,5°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Nublado

Fonte: Autor

APÊNDICE A 27 - Dados do experimento 7: estrutura automatizada

Estudo de Campo – 05/06/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	88,4 W/m ²	18,6 °C	1,2 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
08h30min	86,7 W/m ²	19,1 °C	1,4 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
09h00min	153,9 W/m ²	19,0 °C	1,4 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
09h30min	197,6 W/m ²	20,7°C	1,1 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
10h00min	227,6 W/m ²	22,5°C	1,2 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
10h30min	350,9 W/m ²	23,9°C	1,1 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h00min	376,4 W/m ²	24,2°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h30min	411,9 W/m ²	23,8°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h00min	564,2 W/m ²	25,0°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h30min	700,5 W/m ²	25,8°C	0,9 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h00min	685,3 W/m ²	27,9°C	0,6 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens
13h30min	603,7 W/m ²	28,6°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens
14h00min	553,2 W/m ²	28,4°C	0,9 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens
14h30min	503,6 W/m ²	26,5°C	1,2 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens
15h00min	555,9 W/m ²	25,7°C	1,1 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 28 - Dados do experimento 8: estrutura automatizada

Estudo de Campo – 06/06/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	114,7 W/m ²	18,5 °C	0,4 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
08h30min	131,4 W/m ²	20,0 °C	0,4 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
09h00min	198,0 W/m ²	21,6 °C	0,5 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
09h30min	378,5 W/m ²	24,9°C	0,7 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
10h00min	447,2 W/m ²	26,1°C	0,4 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, com muitas nuvens
10h30min	531,9 W/m ²	28,8°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h00min	656,6 W/m ²	32,1°C	1,2 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
11h30min	802,3 W/m ²	35,7°C	1,2 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h00min	1.100,3 W/m ²	38,0°C	1,3 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
12h30min	1.077,4 W/m ²	41,9°C	1,7 m/s	0°	Ensolarado, com muitas nuvens
13h00min	1.212,3 W/m ²	44,2°C	1,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens
13h30min	1.135,9 W/m ²	47,6°C	2,0 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens
14h00min	1.369,0 W/m ²	49,0°C	1,8 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens
14h30min	997,2 W/m ²	46,2°C	2,1 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens
15h00min	850,3 W/m ²	40,8°C	2,3 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, com muitas nuvens

Fonte: Autor

APÊNDICE A 29 - Dados do experimento 9: estrutura automatizada

Estudo de Campo – 26/06/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	115,4 W/m ²	14,9 °C	1,9 m/s	0°	Nublado
08h30min	191,2 W/m ²	15,2 °C	2,5 m/s	0°	Nublado
09h00min	223,8 W/m ²	15,7 °C	2,3 m/s	0°	Nublado
09h30min	301,5 W/m ²	15,3°C	2,0 m/s	0°	Nublado
10h00min	327,2 W/m ²	15,5°C	2,1 m/s	0°	Nublado
10h30min	367,8 W/m ²	15,2°C	2,4 m/s	0°	Nublado
11h00min	400,6 W/m ²	15,9°C	2,1 m/s	0°	Nublado
11h30min	468,9 W/m ²	16,7°C	1,8 m/s	0°	Nublado
12h00min	600,1 W/m ²	17,1°C	1,6 m/s	0°	Nublado
12h30min	634,9 W/m ²	17,5°C	1,7 m/s	0°	Nublado
13h00min	623,8 W/m ²	17,4°C	1,7 m/s	0°	Nublado
13h30min	599,2 W/m ²	16,9°C	1,9 m/s	0°	Nublado
14h00min	572,4 W/m ²	15,6°C	2,2 m/s	0°	Nublado
14h30min	515,6 W/m ²	14,8°C	2,2 m/s	0°	Nublado
15h00min	610,5 W/m ²	15,3°C	1,8 m/s	0°	Nublado

Fonte: Autor

APÊNDICE A 30 - Dados do experimento 10 - estrutura automatizada

Estudo de Campo – 27/06/2021					
Horário	Irradiação	Temp. Tubo	Veloc. Vento	Inclinação	Observações
08h00min	188,6 W/m ²	19,3 °C	0,8 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
08h30min	234,5 W/m ²	21,5 °C	0,5 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
09h00min	299,7 W/m ²	24,1 °C	0,5 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
09h30min	360,1 W/m ²	28,6°C	0,7 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
10h00min	430,8 W/m ²	30,7°C	0,6 m/s	15° para o Norte	Ensolarado, sem nuvens
10h30min	577,4 W/m ²	33,6°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h00min	684,2 W/m ²	37,4°C	0,8 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
11h30min	715,4 W/m ²	39,5°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h00min	853,4 W/m ²	43,6°C	0,7 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
12h30min	935,2 W/m ²	46,9°C	0,6 m/s	0°	Ensolarado, sem nuvens
13h00min	1.003,6 W/m ²	50,1°C	0,6 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
13h30min	1.199,6 W/m ²	53,9°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h00min	1.264,8 W/m ²	56,1°C	0,8 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
14h30min	1.168,7 W/m ²	55,7°C	0,8 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens
15h00min	1,305,2 W/m ²	56,9°C	0,7 m/s	15° para o Sul	Ensolarado, sem nuvens

Fonte: Autor