

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta
Dissertação será disponibilizado
somente a partir
de 01/05/2024.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

RAFAEL SOARES DE SOUZA

**Abordagem científica de dispositivos para rastreamento solar passivo com dilatação
térmica metálica**

Guaratinguetá - SP
2023

Rafael Soares de Souza

Abordagem científica de dispositivos para rastreamento solar passivo com dilatação térmica metálica

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

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
Co-orientadora: Prof.^a.Dra. Thais Santos Castro

Guaratinguetá - SP
2023

S729a	Souza, Rafael Soares de Abordagem científica de dispositivos para rastreamento solar passivo com dilatação térmica metálica / Rafael Soares de Souza - Guaratinguetá, 2023. 82 f : il. Bibliografia: f. 64-68 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza Coorientadora: Prof^a. Dr^a Thais Santos Castro 1. Energia solar. 2. Energia - Fontes alternativas. 3. Radiação solar. 4. Rastreamento (Engenharia). I. Título CDU 620.91(043)
-------	---

Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa está diretamente ligada a cinco itens dos objetivos de desenvolvimentos sustentáveis, que são a saúde de qualidade, energias renováveis, inovação e infraestrutura, cidades e comunidades sustentáveis e consumo responsável. Ela oferece pesquisas inovadoras no setor de energias renováveis, especificamente com painéis solares.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research is directly linked to five items of the sustainable development objectives, which are quality health, renewable energy, innovation and infrastructure, sustainable cities and communities and responsible consumption. She offers innovative research in the renewable energy sector, specifically with solar panels.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

RAFAEL SOARES DE SOUZA

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

PROGRAMA: ENGENHARIA
CURSO: MESTRADO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



Documento assinado digitalmente
MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES
Data: 14/11/2023 09:31:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Documento assinado digitalmente
TEOFILO MIGUEL DE SOUZA
Data: 01/11/2023 13:42:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Teófilo
Miguel de Souza
Orientador /
UNESP/FEG participou
por videoconferência



Documento assinado digitalmente
NESTOR PROENZA PEREZ
Data: 09/11/2023 16:02:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Nestor
Proenza Pérez
UNESP/FEG
participou por
videoconferência



Documento assinado digitalmente
OSIRIS CANGILIERI JÚNIOR
Data: 09/11/2023 13:27:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Osiris
Cangilieri Júnior
PUC/PR

participou por
videoconferência
Novembro de 2023

DADOS CURRICULARES

RAFAEL SOARES DE SOUZA

NASCIMENTO: 20.09.1995 – São José dos Campos / SP

FILIAÇÃO: José Rodolfo de Souza
Regina Soares de Souza

2021/2023 - Curso de Pós-Graduação em Engenharia – Área de Mecânica
Mestrado – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

2023/2027 - Curso de Graduação em Engenharia dos Materiais –
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

2019/2020 - Curso de Graduação
Tecnologia Projetos e Estruturas Aeronáuticas – Fatec São José dos Campos – Jessen Vidal

2016/2018 - Curso de Graduação
Tecnologia Automação e Manufatura Digital – Fatec São José dos Campos – Jessen Vidal

2010/2013 – Curso de Nível Técnico
Técnico em Informática – ECOMPO

Dedico primeiramente a Deus, ao qual me capacitou e me deu forças para perseverar na construção da pesquisa. Dedico a minha família que sempre me deu apoio e suporte para que eu pudesse continuar a estudar. Dedico a todos que fizeram parte deste projeto de forma direta e indireta.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus primeiramente por ter me capacitado e me guiado neste processo da pesquisa.

Agradecer a minha família por sempre acreditar em mim e fornecer apoio durante o tempo necessário.

Agradecer a minha noiva Natasha por me apoiar imensamente e me auxiliar em todos os momentos de dificuldades.

Agradecer aos técnicos da Unesp–Feg, Rodolfo dos Santos e Antônio Augusto Moretti Rizzato por terem me auxiliado imensamente na construção dos projetos e nas modificações necessárias realizadas.

Agradecer aos funcionários da biblioteca por todo auxílio e disponibilidade oferecidos ao longo da pesquisa.

Agradecer a empresa Fabaraço pela doação de um fio de bronze em formato helicoidal, que foi essencial para a minha pesquisa.

Agradecer aos funcionários da pós-graduação que sempre sanaram dúvidas e ofereceram apoio.

Agradecer aos professores doutores Osiris Canciglieri Júnior e Nestor Proenza Pérez pelas importantes orientações em minha banca de defesa final e agradecer as professoras doutoras Isabel Cristina de Barros Trannin e Raphaela Carvalho Machado por terem participado e auxiliado na banca de qualificação desta dissertação.

E por último agradecer por último aos meus professores orientadores Teófilo e Thais por me ajudarem no desenvolvimento desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) – número do processo 155837/2021-4.

RESUMO

As energias renováveis vêm se tornando cada dia mais relevantes em nossa sociedade devido a importância dada a preservação ambiental do planeta. Uma das principais energias alternativas é a energia solar, onde está atuando por meio de painéis fotovoltaicos. Com o avanço das pesquisas nesta área, foram desenvolvidos meios de movimentar este painel ao longo do dia para aumentar a eficiência energética e assim o ganho de energia solar. Com esta perspectiva, este estudo teve como objetivo desenvolver uma pesquisa para propor um rastreador solar de um grau de liberdade de caráter inovador, onde seu funcionamento seria por meio da dilatação linear de um material metálico. Inicialmente foram expostas amostras de aço, alumínio e latão em cor natural e pintado de preto fosco para verificar se haveria diferença de variação de temperatura. Com isso foram adotadas três metodologias, o primeiro com uma espiral metálica, o segundo com um fio de bronze helicoidal e por último foram realizados experimentos com uma lâmina bimetalica sob a forma de termômetro. Após os experimentos realizados as três metodologias notou-se que a espiral metálica não se deslocou pois sofreu um evento de enrugamento nas voltas, não permitindo a dilatação na última espira, o fio de bronze helicoidal teve sua dilatação no sentido radial e não no longitudinal como esperado, assim não houve deslocamento em sua última volta e com o experimento com a lâmina bimetalica sob forma de termômetro, foi possível visualizar e relacionar a variação de temperatura com ângulos trigonométricos, sendo o maior valor obtido de 92 graus, onde a lâmina estava exposta com uma chapa de latão de cor natural e dentro do vidro comum. Por último, foi realizado também um experimento para verificar se esta dilatação poderia deslocar uma massa de 1,8 gramas, e teve-se um resultado positivo, ou seja, o termômetro especificado deslocou a massa estipulada. Ao fim, concluiu-se que a proposta é de fato inovadora, de acordo com a bibliografia pesquisada e com as variações obtidas e a massa deslocada seria possível destinar o mecanismo para painéis solares por meio de ajustes de escala.

PALAVRAS CHAVES: Energia solar; rastreador solar; materiais metálicos; painéis fotovoltaicos.

ABSTRACT

Renewable energies are becoming more relevant every day in our society due to the importance given to environmental preservation of the planet. One of the main alternative energies is solar energy, which operates through photovoltaic panels. With the advancement of research in the area, means of moving this panel throughout the day were developed to increase energy efficiency and consequently gain solar energy. With this perspective, this study aimed to develop research to propose a solar tracker with an innovative degree of freedom, where its operation would be through the linear expansion of a metallic material. Initially, samples of steel, aluminum and brass were displayed in natural color and painted matte black to check whether there was a difference in temperature variation. With this, three methodologies were adopted, the first with a metallic spiral, the second with a helical bronze wire and finally experiments were carried out with a bimetallic blade in the form of thermometer. After the experiments carried out using the three methodologies, it was noted that the metallic spiral did not move as it suffered a wrinkling event in the turns, not allowing expansion during the last spiral, the helical bronze wire had its expansion in the radial direction and not in the longitudinal direction as expected, so there was no displacement in its last turn and with the experiment with the bimetallic blade in the form of a thermometer, it was possible to visualize and relate the temperature variation with trigonometric angles, with the highest value obtained being 92 degrees, where the blade was exposed with a natural colored brass plate and inside common glass. Finally, an experiment was also carried out to check whether this expansion could displace a mass of 1.8 grams, and there was a positive result, that is, the specified table displaced the stipulated mass. In the end, we concluded that the proposal is indeed innovative, according to the bibliography researched and with the variations obtained and the displaced mass, it would be possible to allocate the mechanism to solar panels through scale adjustments.

KEYWORDS: Solar energy; solar tracker; metal materials; photovoltaic panel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética da geração de energia elétrica do Brasil (ano base 2020).....	21
Figura 2 – Ilustração de um sistema de rastreador solar com um grau de liberdade.....	23
Figura 3 – Ilustração de um sistema de rastreador com solar com dois graus de liberdade.	23
Figura 4 – Rastreador solar passivo.....	24
Figura 5 - Rastreador solar ativo utilizando controlador com indicação dos componentes do sistema fotovoltaico.....	25
Figura 6 - Rastreador solar com arduino e sensor LDR.	26
Figura 7 - Dilatação em uma barra redonda de aço.	27
Figura 8 – Molas de torção em espiral.	28
Figura 9 – Mola helicoidal.....	29
Figura 10 - Fluxograma das etapas desenvolvidas neste estudo.	32
Figura 11 – Número de publicações por ano de artigos relacionados ao tema de rastreadores solares na base de dados <i>Scopus</i>	33
Figura 12 – Números dos tipos de publicações relacionada a rastreadores solares na base de dados <i>Scopus</i>	34
Figura 13 - Informação das áreas dos artigos relacionados a rastreadores solares na base de dados <i>Scopus</i>	34
Figura 14 – Filme de poliéster leitoso.	36
Figura 15 – Lâmina bimetálica helicoidal geralmente utilizada para termômetro.	37
Figura 16 – Lâmina bimetálica sob forma de termômetro.	38
Figura 17 – Transferidor de 180°.	38
Figura 18 – Chapa de latão para a haste do termômetro.	38
Figura 19 – Chapa de latão pintada de preto fosco para acoplar a haste do termômetro.	39
Figura 20 – Frasco de vidro comum com capacidade de um litro.....	39
Figura 21 - Pannel fotovoltaico utilizado para padronizar as dimensões da estrutura	40
Figura 22 – Projeto da estrutura para estudo do rastreador solar	40
Figura 23 - Cordas de relógio utilizadas para se obter as dimensões das espirais	41
Figura 24 - Projeção da espiral em vista 3D.....	41
Figura 25 - Projeção da montagem da espiral na estrutura.....	41
Figura 26 - Projeção da montagem com o fio de bronze em formato helicoidal.	42
Figura 27 - Projeção da montagem da lâmina bimetálica sob forma de termômetro com uma pequena estufa.	43

Figura 28 – Inclínômetro simples.....	44
Figura 29 – Termômetro infravermelho.	44
Figura 30 – Medidor de energia solar MES-100	44
Figura 31 – Inclínômetro digital.....	45
Figura 32 - Experimento de exposição ao sol das amostras dos materiais.....	46
Figura 33 – Estrutura construída para gerar uma estufa no termômetro bimetalico.	48
Figura 34 – Posicionamento do termômetro bimetalico a 33°.	49
Figura 35 – Primeira situação de exposição da lâmina bimetalica sob forma de termômetro .	49
Figura 36 – Segunda situação de exposição da lâmina bimetalica sob forma de termômetro .	50
Figura 37 – Terceira situação da lâmina bimetalica sob forma de termômetro	50
Figura 38 – Quarta situação da lâmina bimetalica sob forma de termômetro	51
Figura 39 – Quinta situação da lâmina bimetalica sob forma de termômetro.....	51
Figura 40 – Sexta situação de exposição da lâmina bimetalica sob forma de termômetro	52
Figura 41 – Lâmina bimetalica sob forma de termômetro com um pedaço de célula fotovoltaica acoplada.	52
Figura 42 – Vistas da estrutura final de <i>metalon</i> que será utilizado para teste da espiral metálica.	54
Figura 43 - Espiral construída com a fita de latão (liga com 60% de cobre + 40% de zinco) .	54
Figura 44 - Espiral construída com o material aço (liga com 98,5% de ferro + 0,5 % de carbono e sílico, enxofre e fosforo).....	55
Figura 45 – Estrutura do rastreador solar em latão.....	55
Figura 46 – Barra vazada inserida dentro da mola de bronze.	56
Figura 47 – Barra externa de bronze.	56
Figura 48 – Estrutura construída para o fio de bronze em formato helicoidal.	57
Figura 49 – Gráfico contendo as maiores variações trigonométricas da primeira situação.	58
Figura 50 – Gráfico contendo as maiores variações trigonométricas da segunda situação.....	59
Figura 51 – Gráfico contendo as maiores variações trigonométricas da terceira situação.....	59
Figura 52 – Gráfico contendo as maiores variações trigonométricas da quarta situação.....	60
Figura 53 – Gráfico contendo as maiores variações trigonométricas da quinta situação.....	60
Figura 54 – Gráfico contendo as maiores variações trigonométricas da sexta situação.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dilatação linear dos materiais encontrados no mercado	28
Tabela 2 – Resultados da busca na base de dados <i>Scopus</i>	33
Tabela 3 - Principais trabalhos utilizados para embasamento do estudo.	35
Tabela 4 - Coeficiente dos materiais escolhidos	36
Tabela 5 - Coeficiente do material da mola utilizada.....	37
Tabela 6– Média dos valores registrados das amostras metálicas.....	53
Tabela 7 – Valores registrados das amostras no primeiro dia	69
Tabela 8 – Valores registrados das amostras no segundo dia.....	70
Tabela 9 – Valores registrados das amostras no terceiro dia.....	71
Tabela 10 – Valores registrados das amostras no quarto dia.....	72
Tabela 11 – Valores registrados das amostras no quinto dia.....	73
Tabela 12 – Valores registrados das amostras no sexto dia	74
Tabela 13 – Valores registrados das amostras no sétimo dia	75
Tabela 14 – Valores registrados das amostras no oitavo dia.....	76
Tabela 15 – Valores registrados das amostras no nono dia.....	77
Tabela 16 – Valores registrados das amostras no décimo dia	78
Tabela 17 – Primeira situação da lâmina bimetálica.	79
Tabela 18 – Segunda situação da lâmina bimetálica.	79
Tabela 19 – Terceira situação da lâmina bimetálica.....	80
Tabela 20 – Quarta situação da lâmina bimetálica.	80
Tabela 21 – Quinta situação da lâmina bimetálica.	81
Tabela 22 – Sexta situação da lâmina bimetálica.	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GW	Giga watts
PERC	<i>Passivated emitter and Rear Cell</i>
LDR	<i>Light dependent resistor</i>
3D	<i>Three dimension</i>
MES	Medidor de energia solar

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
ΔL	Variação do comprimento
L_0	Comprimento inicial
α	Coeficiente de dilatação do material
$\Delta \theta / \Delta T$	Variação de temperatura
m	Metros
mm	Milímetros
°C	Graus celsius
π	Número pi
d	Diâmetro
C	Circunferência
X	Número de dilatações
W/m ²	Watts por metro quadrado
ΔGT	Variação de ângulo trigonométrico
g	Gramas

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1.	Estrutura da dissertação	18
2.	OBJETIVOS	19
2.1.	Objetivo geral	19
2.2.	Objetivos específicos	19
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1.	Desenvolvimento humano no setor energético	20
3.2.	Energia solar, células e sistemas fotovoltaicos	20
3.3.	Rastreadores solares.....	22
3.4.	Ganho de eficiência energética com os rastreadores solares para estruturas móveis 26	
3.5.	Dilatação térmica	27
3.6.	Dilatação térmica linear	27
3.7.	Molas de torção em espiral e molas helicoidais	28
3.8.	Estudos correlatos	29
4.	MATERIAL E MÉTODO	31
4.1.	Metodologia.....	31
4.2.	Etapas do trabalho.....	31
4.2.1.	Revisão bibliográfica	32
4.3.	As três metodologias adotadas.....	35
4.4.	Material utilizado.....	36
4.4.1.	Materiais do experimento com a mola em espiral.	36
4.4.2.	Materiais do experimento com o fio de bronze em formato helicoidal.	36
4.4.3.	Materiais do experimento com a lâmina bimetálica sob a forma de termômetro..	37
4.5.	Definição das estruturas.....	39
4.5.1.	Experimento com a espiral metálica.....	39
4.5.2.	Experimento com o fio de bronze em formato helicoidal.	42
4.5.3.	Experimento utilizando a lâmina bimetálica sob a forma de termômetro.	42
4.6.	Equipamentos	43
4.7.	Experimentos com as espirais metálicas.....	45
4.7.1.	Experimento com as amostras dos materiais pintados de preto fosco e de cor natural. 45	
4.8.	Experimento com o fio de bronze no formato helicoidal.	47
4.9.	Experimento com a lâmina bimetálica sob a forma de termômetro.	47

5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
5.1.	Experimentos realizados.....	53
5.1.1.	Experimento com espirais.....	53
5.1.2.	Experimento com o fio de bronze em formato helicoidal.	56
5.1.3.	Experimento com a lâmina bimetálica sob a forma de termômetro.	57
6.	CONCLUSÕES.....	62
7.	TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS		64
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA		68
APÊNDICE A1		69
APÊNDICE A2		79
TRABALHOS DESENVOLVIDOS DURANTE O MESTRADO		82

1. INTRODUÇÃO

A energia solar térmica é destinada a menos de 1 % da necessidade do calor mundial. O seu maior uso é para o aquecimento de água. No Brasil, existe 2 % de instalação em comparação ao mundo. Em 2017, houve um aumento de 17 % de novas instalações para o setor industrial (IEA, 2019).

A energia, nas suas diversas formas, é de vital importância à sociedade, devido às necessidades que o mundo apresenta, tais como melhoria da qualidade de vida, crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental. A energia é considerada essencial quando relacionada ao desenvolvimento humano, sobretudo as energias renováveis e seus impactos para a sustentabilidade ambiental (SCHULTZ; DALLAVECHIA, 2022).

O calor é a forma de energia que representa o maior consumo quando se trata das indústrias. Ele é equivalente a mais de um terço de energia consumida em escala global. Mas esse fato, traz um alerta preocupante para o setor industrial devido as emissões causadas pelo processo de combustão. Esse processo ampliou a busca por uma solução que não agredisse o meio ambiente e surgiu como opção viável o uso de energias renováveis. A partir do ano 2000, as pesquisas avançaram para tornar possível o uso destas energias em diferentes setores (CASCAES, 2019).

Segundo SOUZA et al. (2020) a literatura sobre a situação atual de energias renováveis no Brasil, apresenta referências excelentes para ajudar no combate à diminuição de danos infringidos ao meio ambiente, pois quanto maior for o seu uso e sua viabilização para o uso comum, menor será a demanda de retirada de recursos naturais e por consequência, haverá uma diminuição da emissão de gases que resultam no efeito estufa.

A partir do início do século XXI, a crescente necessidade de geração de energia elétrica conduziu a sociedade a focar em pesquisas sobre meios alternativos de geração. E um dos resultados foi a geração elétrica por meio de arranjos fotovoltaicos, conhecidos também por energia fotovoltaica. A importância destes meios, tem se mostrado significativa por oferecer energia com um impacto pequeno ao meio ambiente, uma vez que ela é limpa. Cada arranjo desta energia, tem características únicas, pois a captação de energia não é considerada linear e isso demanda técnicas de controle operacional em que auxiliem no processo para aumentar a eficiência do sistema, por exemplo, a irradiação solar ao longo do dia sofre variação de valor (MOREIRA et al. 2022).

De certa forma, todas as fontes de energia, podem ser consideradas formas indiretas de energia solar. A radiação solar ainda pode ser utilizada de forma direta, como energia térmica, para aquecer fluídos, ambientes e para gerar potência mecânica ou elétrica através de alguns materiais específicos, destacando os sistemas termoelétrico e o fotovoltaico. A fonte de energia solar é considerada barata, no entanto, o incentivo financeiro atual não é o suficiente para ampliar o campo de pesquisas dessa área (GÉLIO; CÉSAR, 2021).

Os sistemas que auxiliam na melhor captação solar, conhecidos como rastreadores solares, normalmente são utilizados em grandes aplicações comerciais ou industriais, pois necessitam de espaço para o movimento dos painéis solares e com isso os gastos de manutenção aumentam, uma vez que o sistema está sujeito a fatores climáticos, como vento ou chuva. Quando se trata de rastreadores solares, pode-se destacar um grupo específico que é considerado um dos principais tipos, que são os com mecanismos de caráter passivo. Eles são classificados assim por fazerem uso do calor ou do efeito fotovoltaico proveniente do Sol para acionar algum sistema próprio de movimento. Um dos exemplos encontrados na literatura, é o que faz uso da expansão térmica do ar comprimido. Esse grupo é aplicado a sistemas fotovoltaicos simples, ou seja, que não sejam complexos em comparação aos outros rastreadores do mercado e por essa razão não oferecem uma alta eficiência a baixas temperaturas (SUMATHI et al. 2017).

A tendência atual setor de energia solar é utilizar os rastreadores solares para potencializar o ganho energético dos painéis fotovoltaicos. A utilização dos rastreadores solares passivos surge como uma opção mais atrativa de desenvolvimento de pesquisa pois pode oferecer um rendimento maior, sendo que este grupo utiliza a própria energia solar para realizar o deslocamento do painel ao longo do dia. Sendo assim, a área da pesquisa da energia solar está apta a receber novos desenvolvimentos de mecanismos para obter um melhor aproveitamento de radiação solar, por meio do deslocamento efetivo do painel fotovoltaico (RENOSTO *et al.* 2018).

Entre os rastreadores solares passivo não há um mecanismo que faça uso de dilatação metálica para movimentar um painel assim que ele sofra radiação solar ao longo do dia. Essa metodologia pode resultar em um mecanismo que envolva menores custos e retorne um bom rendimento.

Sendo assim, esta pesquisa visa apresentar uma forma inovadora de rastreador solar passivo para sistemas de um eixo de rotação, ou seja, um grau de liberdade, onde seu mecanismo de movimento se baseia na dilatação linear de um material metálico, com a incidência dos raios solares, ao longo do dia. Este mecanismo é simples e apresenta melhores valores de captação

da energia solar. Serão feitas pesquisas na literatura de diferentes tipos de rastreadores solares passivos, projeto e construção do rastreador e os testes.

1.1. Estrutura da dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos:

O primeiro capítulo trata da Introdução, com a apresentação do estado da arte sobre as energias solares e a proposta do desenvolvimento da dissertação.

O segundo capítulo se trata dos Objetivos e da estrutura da dissertação.

O terceiro capítulo é a Revisão Bibliográfica sobre energia solar, painéis solares e rastreadores solares.

O quarto capítulo é sobre o material e método adotados neste trabalho, onde está a parte experimental com os ensaios detalhados do funcionamento do sistema ao longo do dia e quais equipamentos e parâmetros foram utilizados nos experimentos.

O quinto capítulo são os resultados e discussões obtidos durante a parte experimental e as análises através de textos equações, tabelas, gráficos, na mesma sequência dos experimentos.

O sexto capítulo trata das conclusões parciais como respostas aos objetivos e traz propostas para desenvolvimento futuro.

Após os capítulos estão dispostas as referências que foram utilizadas neste trabalho.

6. CONCLUSÕES

Analisando as referências bibliográficas, principalmente os reviews sobre os rastreadores solares, a proposta de rastreador passivo com dilatação metálica apresentada trata de um sistema inovador no mercado.

Os experimentos dependem de maior variação da temperatura para que haja uma rotação na estrutura de suporte por meio da dilatação térmica.

Os materiais pintados de preto fosco alcançaram maiores temperaturas e podem ser adotados.

Não foi possível desenvolver um mecanismo com a espiral metálica de latão, pois a dilatação linear que ocorre nela, ocasiona num enrugamento, fazendo com que não haja uma dilatação na parte final da espiral e por consequência não desloque o eixo.

Não foi possível verificar a dilatação em um fio de bronze em formato helicoidal pois a dilatação ocorre de forma radial e não longitudinal, não realizando o giro esperado na última volta. O que foi observado deste experimento também é que a rigidez e diâmetro afetaram também o processo de dilatação longitudinal deste material.

A lâmina bimetálica sob forma de termômetro foi a que apresentou os melhores resultados com a variação de temperatura, o que permitiu uma variação trigonométrica maior. Para o final dos experimentos, a lâmina metálica do termômetro especificado, conseguiu mover uma massa de 1,8 g, o que pode se concluir que a lâmina bimetálica com maiores dimensões geométricas será possível deslocar massas maiores, como um painel fotovoltaico.

Com os deslocamentos registrados por meio da lâmina bimetálica, é possível destinar este mecanismo a aplicações como painéis fotovoltaicos, aquecedor solar de água, aquecedor para secagem de folhas e secagem de frutas.

7. TRABALHOS FUTUROS

As sugestões para trabalhos futuros são a análise de fitas metálicas de dimensões geométricas maiores para resultar na dilatação linear esperada. Disposição dela de uma maneira que mecanicamente ela possa se movimentar corretamente.

Estudar diferentes diâmetros de fio de bronze e diferentes coeficientes de rigidez para verificar a relação entre a variação de temperatura e dilatação obtida.

Uso de lâminas bimetálicas de invar e monel em maiores dimensões geométricas para movimentar materiais de massas maiores.

REFERÊNCIAS

- ABDELGHANI-IDRISSI, M. A. *et al.* Solar tracker for enhancement of the thermal efficiency of solar water heating system. **Renewable Energy**, Amsterdã, v. 119, p. 79–94, apr. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148117311734>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- ABDUNNABI, M. *et al.* Flat plate based-solar system with a tracking system. **Solar energy and sustainable development journal**, Tripoli, v. 7, n. 1, 2018. Disponível em: <https://jsesd-ojs.csers.ly/ojs/index.php/jsesd/article/view/36>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- ARAÚJO SOBRINHO, A.; SOUZA, G. **Física térmica: teórica e experimental**. Natal: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Rio Grande do Norte, 2006. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/1038>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- BRITO, M. C. *et al.* Passive solar tracker based in the differential thermal expansion of vertical strips. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, Melville, v. 11, n. 4, 2019. Disponível em: <https://pubs.aip.org/aip/jrse/article-abstract/11/4/043701/281023/Passive-solar-tracker-based-in-the-differential?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- CARNEIRO, A. **Ensino de física por investigação: uma proposta para ensino de dilatação térmica dos sólidos para alunos do ensino médio**. 2019. Dissertação (Mestrado nacional profissional em ensino de física) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- CASCAES, B. P. **Avaliação de oportunidades do uso de energia solar térmica em aplicações industriais no Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.
- CAVALCANTE, M. *et al.* Os impactos da tecnologia de energia solar On-Grid e Off-Grid para o meio ambiente e seus aspectos positivos. **e-Acadêmica**, Vargem Grande Paulista, v. 3, n. 3, 2022. Disponível em: <https://eacademica.org/eacademica/article/view/382>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- CREMASCO, N. P. *et al.* Estudo de diferentes tecnologias de células fotovoltaicas. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, Curitiba, v. 12, n. 32, 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/recit/article/view/015052>. Acesso em: 11 nov. 2023.
- FLECHER, N. R. C. **Custos ambientais das emissões atmosféricas na geração de energia elétrica: uma proposta para o setor energético nacional**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2022.
- FREITAS, R. **Aplicações do cálculo diferencial e integral: temperatura, calor e dilatação térmica**. 2021. Dissertação (Mestrado profissional em matemática em Rede Nacional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2021.
- GÉLIO, L. G.; CÉSAR, F. I. G. Energia solar: um estudo sobre o futuro da geração de

energia. **Acertte**, Jundiaí, v.1, n. 5, 2021. Disponível em: <https://acertte.org/index.php/acertte/article/view/34>. Acesso: 11 nov. 2023.

HAFEZ, A. Z. *et al.* Solar tracking systems: technologies and trackers drive types: a review **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdã, v. 91 p. 754-782, aug. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118301886>. Acesso em: 11 nov. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, IEA. **Renewable's information**: Overview 2019. Paris, 2019.

MOREIRA, D. C. *et al.* Comparative study of maximum power point tracking techniques in photovoltaic arrays. **Revista Virtual de Química**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 14–20, 2022. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v14n1a04.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2023.

MOURAD, A. H. I. *et al.* A state-of-the-art review: solar trackers. *In*: ADVANCES IN SCIENCE AND ENGINEERING TECHNOLOGY INTERNATIONAL CONFERENCES, ASET, 2022, Dubai. **Proceedings** [...]. Dubai: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/9734305/proceeding>. Acesso em: 08 dez. 2023.

MUSSI, R. *et al.* Pesquisa quantitativa e/ou qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades. **Sustinere**, Rio de Janeiro, v.7, n. 2, 2019. Disponível: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/sustinere/article/view/41193>. Acesso em: 11 nov. 2023.

NASCIMENTO, C. J. Z. Molas. **Info Escola**, 2023. Disponível em: <https://www.infoescola.com/mecanica/molas/>. Acesso em: 28 set. 2023.

NSENGIYUMVA, W. *et al.* Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdã, v. 81, p. 250 – 279, 2018. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117310183>. Acesso em: 11 nov. 2023.

PAIVA, E. **Desenvolvimento de um rastreador solar microcontrolado para um coletor solar concentrador**. 2009. Tese (Doutorado em engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

PASSOS, F. Seguidor solar – parte 2: classificação tipos. **Microgeração fotovoltaica**: Notícias, informações e curiosidades relacionadas com a energia solar fotovoltaica, 2016. Disponível em: <https://microgeracaoofv.wordpress.com/2016/10/17/seguidor-solar-parte-2-tipos/>. Acesso em: 18 nov. 2022.

PRADO, T. F. *et al.* Estado da arte em mecanismos de rastreamento solar. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2015, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: Associação Brasileira de Engenharia Química, 2015. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/estado-da-arte-em-mecanismos-de-rastreamento-solar-17678>. Acesso em: 11 nov. 2023.

QUEIROZ, J. *et al.* Classificação de rastreadores solares: uma breve revisão. *In: SIMPÓSIO PARANAENSE DE MODELAGEM, SIMULAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS*, 3., 2018, Curitiba. **Trabalhos apresentados** [...]. Curitiba: Universidade do Paraná, 2018. Disponível em: <https://eventos.ufpr.br/simproc/simproc3/paper/viewFile/1002/339>. Acesso em: 11 nov. 2023.

RECA-CARDEÑA, J.; LÓPEZ-LUQUE, R. design principles of photovoltaic irrigation systems. *In: RECA-CARDEÑA, J.; LÓPEZ-LUQUE, R. Advances in renewable energies and power technologies*. Amsterdã: Dimensions, 2018. p. 295–333. Cap. 9. Disponível em: <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1101372954>. Acesso em: 11 dez. 2023.

RENOSTO, A. *et al.* Protótipo de sistema fotovoltaico com seguidor solar para aplicação didática. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR*, 7., 2018, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: International Society of Energy Solar, 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/219>. Acesso em: 11 nov. 2023.

REN21 – Renewables now. **Renewables global status report**. 2020. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

RODRIGUES, L. C.; FIGUEIRA, H. B. Comparação e viabilidade de diferentes tipos de rastreadores solares para geradores fotovoltaicos. **Revista científica multidisciplinar núcleo do conhecimento**, São Paulo, v. 8, p. 102-126, 2021. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/rastreadores-solares#>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SÁ, R. J. S. *et al.* Energias renováveis: energia solar fotovoltaica e energia eólica. **Multidisciplinary Reviews**, Mossoró, v. 2, n. 1, 2019. Disponível em: <https://malque.pub/ojs/index.php/mr/article/view/102>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SANTOS, E. J. C. **Tabela**: coeficiente de dilatação linear de alguns materiais. São Paulo: IFSP [2023]. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/edsonjose/disciplinas/fisica-ii-licenciatura-em-quimica-1/tabela-coeficiente-de-dilatacao-linear-de-alguns-materiais/view>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SCHULTZ, A.; DALLAVECHIA, G. Renewable energy and sustainability: a review. *In: JORNADA DA PESQUISA*, 27., 2022, Ijuí. **Anais** [...]. Ijuí: Salão do conhecimento do Unijuí, 2022. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/22339>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SILVA, G.; SOUZA, M. Estimativa de geração de energia através de um sistema fotovoltaico: implicações para um sistema flutuante no lago Bolonha. **Revista brasileira de energias renováveis Belém-Pará**, Curitiba, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/46194>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SILVA, H.; ARAÚJO, F. Energia solar fotovoltaica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 8, n. 3, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/4654>. Acesso em: 11 Nov, 2023.

SOUZA, G. *et al.* Energias renováveis e as alternativas das matrizes energéticas sustentáveis. **Editora Uniedusul**, Maringá, v.3, p. 7–23, 2020. Disponível em: <https://www.uniedusul.com.br/publicacao/as-multiplas-visoes-do-meio-ambiente-e-os-impactos-ambientais/>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SOUZA, L. Um experimento sobre a dilatação térmica e a lei de resfriamento. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., 2009, Vitória. **Trabalhos apresentados [...]**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009. Disponível em: https://www.if.ufrj.br/~carlos/conferencias/dilatacaotermica/dilatacaoTermica_Snef.pdf. Acesso em: 11 nov. 2023.

STRAUB, M. About us. **Usinainfo**: eletrônica & robótica, 2020. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/rastreador-solar-com-arduino-um-seguidor-solar-atraves-de-ldr/>. Acesso em: 17 nov. 2021.

SUMATHI, V. *et al.* Solar tracking methods to maximize PV system output: a review of the methods adopted in recent decade. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 74, p. 130 – 138, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117302162>. Acesso em: 11 dez. 2023.

TECH SPRING. **About us**. 2023. Disponível em: <https://www.dai-yi.com.tw/pt/category/CAT-Power-Spring.html>. Acesso em: 28 set. 2023.

ZAZULA, R. M. *et al.* Análise de eficiência de um painel fotovoltaico utilizando um rastreador solar comparado a um estacionário. **Pesquisa e Inovação**: Revista científica de Engenharia, Guarapuava, v.1, n.2, 2019, Disponível em: <https://revista.camporeal.edu.br/index.php/pi/article/view/491>. Acesso em: 11 nov. 2023.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

COELHO, M.; MAIA, A. Por que o orifício em uma chapa se dilata de forma igual á própria chapa?. **Caderno brasileiro de ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n.1, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p324>. Acesso em: 11 nov. 2023.

MOUSAZADEH, H. *et al.* A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdã, v. 13, n. 8, p. 1800-1818, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109000318>. Acesso em: 11 nov. 2023.

TRABALHOS DESENVOLVIDOS DURANTE O MESTRADO

Participação e apresentação do artigo “Rastreadores Solares: Uma revisão bibliográfica” no XLIV International Sodebras Congress do dia 10 a 12 de novembro de 2021, de forma online.

Participação e apresentação do artigo “Estrutura móvel de rastreamento solar com dilatação metálica” no XLV International Sodebras Congress do dia 25 a 27 de maio de 2023 em Curitiba-PR no auditório de eventos do hotel Rockefeller.

Participação e apresentação do artigo “Proposta de rastreador solar de um grau de liberdade utilizando material bimetalico” no V Workshop de Engenharia Mecânica e de Produção nos dias 23 e 24 de novembro de 2021, de forma online.

Participação e apresentação “Proposta de um mecanismo de espiral bimetalica para rastreador solar” no VI Workshop de Engenharia Mecânica e de Produção nos dias 5 e 6 de dezembro de 2022, na Unesp de Guaratinguetá-SP, no auditório da Inove.

Artigos publicados em Anais de Eventos e Periódicos.

SOUZA, R. S.; JESUS, N. M. R.; SOUZA, T. M.; CASTRO, T. S. RASTREADORES SOLARES: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. **Revista SODEBRAS**, [s. l.], v. 17, n. 193, p. 157–166, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.17.2022.193.157>. Acesso em: 10 out. 2023.

SOUZA, R. S.; JESUS, N. M. R.; CASTRO, T. S.; SOUZA, T. M. ESTRUTURA MÓVEL DE RASTREAMENTO SOLAR COM DILATAÇÃO METÁLICA. **Revista Sodebras**, [s. l.], v. 18, n. 212, p. 93–99, 2023. Disponível em: <http://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.2023.212.93>. Acesso em: 10 out. 2023.

SOUZA, R.; SOUZA, T.; CASTRO, T. **PROPOSTA DE RASTREADOR SOLAR DE UM GRAU DE LIBERDADE UTILIZANDO MATERIAL BIMETÁLICO**. Guaratinguetá: [s. n.], 2021. ISBN 978-65-89235-01-9. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/#!/eventos/v-workshop-de-engenharia-mecanica-e-de-producao-v-wsp/anais-do-evento/>. Acesso em: 10 out. 2023.

SOUZA, R.; SOUZA, T.; CASTRO, T. **PROPOSTA DE UM MECANISMO DE ESPIRAL BIMETÁLICA PARA RASTREADOR SOLAR**. Guaratinguetá: [s. n.], 2022. ISBN 978-65-89235-03-3. Disponível em: <https://www.feg.unesp.br/Home/Eventos/viiworkshopdeengenhariamecanicaedeproducao/anais-vi-wpg-2022---completo-com-ficha-isbn.pdf>. Acesso em: 10 out. 2023.

Elaboração de patente:

Está em elaboração a patente de um rastreador solar com dilatação metálica e bimetálica. O projeto se destaca como inovador pelo fato do mecanismo de deslocamento ao longo dia, ser a dilatação metálica de um material específico. Foram realizados experimentos para relacionar a variação de temperatura com variação trigonométrica. Os principais conceitos apresentados são o deslocamento angular por material bimetálico em uma lâmina sob forma de termômetro.