



ALISON JOSÉ PEREIRA NERI  
BRENO HENRIQUE DA SILVA  
PAULO HENRIQUE NASCIMENTO FILHO  
SAMUEL LINS GOMES  
RAFAEL GARBO DA SILVA  
YURI MARTINS

**ANÁLISE TEÓRICA DE UM COLETOR SOLAR CONCENTRADOR CILÍNDRICO  
PARABÓLICO POR TUBO EVACUADO COM RASTREAMENTO SOLAR E  
INTERFACE WEB**

CATANDUVA  
2021



ALISON JOSÉ PEREIRA NERI  
BRENO HENRIQUE DA SILVA  
PAULO HENRIQUE NASCIMENTO FILHO  
SAMUEL LINS GOMES  
RAFAEL GARBO DA SILVA  
YURI MARTINS

**ANÁLISE TEÓRICA DE UM COLETOR SOLAR CONCENTRADOR CILÍNDRICO  
PARABÓLICO POR TUBO EVACUADO COM RASTREAMENTO SOLAR E  
INTERFACE WEB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
de São Paulo, campus Catanduva como requisito  
parcial para conclusão do curso Técnico em  
Mecatrônica integrado ao Ensino Médio.  
Orientador: Prof. Dr. Elson Avallone  
Coorientador: Prof. Me. Pablo Sampaio Gomes  
Natividade

**Comentado [BHdS1]:** Dúvida aos docentes de PIM: é permitido a inserção de um "Coorientador"?

**Atenção:** No verso desta página deve constar a ficha catalográfica elaborada por bibliotecário (obrigatório para os cursos superiores).  
Para efeito de numeração, esta é a página 1, porém, ela é contada, mas não numerada.

CATANDUVA  
2021



ALISON JOSÉ PEREIRA NERI  
BRENO HENRIQUE DA SILVA  
PAULO HENRIQUE NASCIMENTO FILHO  
SAMUEL LINS GOMES  
RAFAEL GARBO DA SILVA  
YURI MARTINS

**ANÁLISE TEÓRICA DE UM COLETOR SOLAR CONCENTRADOR CILÍNDRICO  
PARABÓLICO POR TUBO EVACUADO COM RASTREAMENTO SOLAR E  
INTERFACE WEB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, campus Catanduva como requisito parcial para conclusão do curso Técnico em Mecatrônica integrado ao Ensino Médio.

Orientador: Prof. Dr. Elson Avallone

Coorientador: Prof. Me. Pablo Sampaio Gomes Natividade

---

ELSON AVALLONE

Instituto Federal de São Paulo – Campus Catanduva

---

Professor Membro 1

(Colocar aqui a que instituição a que pertence)

---

Professor Membro 2

(Colocar aqui a que instituição a que pertence)

Catanduva - SP, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_.









Dedico este trabalho à...







### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, à Deus que nos concedeu energia e ânimo para concluir esse trabalho e oportunidade de estudar no IFSP-Catanduva, alcançando nossas metas.

Aos professores, que através dos seus ensinamentos, esforços e paciência possibilitaram nossa evolução dia a dia.

Aos professores orientadores, que nos acompanharam, dando todo auxílio para a elaboração do trabalho.

A todos que ajudaram na realização do trabalho, pela colaboração no processo de obtenção de dados e resultados.

Nossas famílias foram muito importantes para o trabalho, fornecendo materiais, tempo e incentivo durante o curso e o desenvolvimento deste trabalho.









“Pensar é o trabalho mais difícil que existe. Talvez por isso tão poucos se dediquem a ele. A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.” - Albert Einstein

“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou, mas sim pelas dificuldades que superou no caminho.” - Abraham Lincoln







## **RESUMO**

(Dois espaços simples entre o título e texto)

Deve conter uma brevíssima justificativa do tema, objetivo geral, metodologia, principais resultados e conclusão. O texto deve ter de 150 até 500 palavras, espaçamento simples e não há parágrafos.

**Palavras-chave:** Palavra 1. Palavra 2. Palavra 3. Palavra 4. (Devem ser no mínimo 3, em caso de dúvidas, procure o bibliotecário).









## ABSTRACT

Deve ser feita a tradução do resumo para a língua estrangeira.

**Keywords:** Word 1. Word 2. Word 3. Word 4.







## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – <i>Trivium</i> e <i>Quatrivium</i> , Cassiodoro .....	xx
---	----









## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – A divisão das ciências segundo Francis Bacon .....	xx
--	----







## LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

<b>ACI</b>	Anteriorizing Common Isolates
<b>BC2</b>	Bibliographic Classification 2. ed.
<b>CI</b>	Common Isolates
<b>FID</b>	Federação Internacional de Documentação
<b>IFSP</b>	Instituto Federal de São Paulo
<b>OCLC</b>	Online Computer Library Center

**Obs.:** No texto, quando a sigla aparecer pela primeira vez, deve-se colocar o nome por extenso logo em seguida, entre parênteses.

**Exemplo:** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)









## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>45</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>48</b>
2.1	Objetivo geral .....	48
2.2	Objetivos específicos .....	48
<b>3</b>	<b>Desenvolvimentos .....</b>	<b>49</b>
3.1	Título Nível 2 – Seção secundária.....	49
3.1.1	Título Nível 3 – Seção terciária.....	49
3.1.1.1	Título nível 4 – Seção quaternária.....	49
<b>4</b>	<b>ILUSTRAÇÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS – regras gerais de apresentação.....</b>	<b>52</b>
	<b>APÊNDICE A – Modelos de estruturas organizacionais.....</b>	<b>54</b>
	<b>ANEXO A – Título do anexo .....</b>	<b>55</b>







## 1 INTRODUÇÃO

A energia solar é a fonte de energia mais antiga da humanidade. Por muitas civilizações passadas o sol foi idolatrado como um deus sagrado. A secagem de alimentos para conservá-los foi a primeira aplicabilidade prática descoberta (KALOGIROU, 2004). Segundo o mesmo autor em sua obra de 2014, o uso da energia solar é datado do Cerco a Siracusa (213 a 212 a.C.), onde Arquimedes (282 a 212 a.C.) usou os raios solares para queimar incendiar navios romanos.

Durante o século XIX, foram feitas as primeiras tentativas de gerar vapor (à baixa pressão) a partir da radiação solar. Augusto Mouchot foi pioneiro nesse campo, construindo e operando vários motores a vapor movidos a energia solar, entre os anos de 1864 a 1878 na Europa e norte da África (RAGHEB, 2014). Em conformidade com Jordan e Ibele (1956) os esforços foram continuados nos Estados Unidos, onde um engenheiro, Capitão John Ericsson, desenvolveu o primeiro motor a vapor movido diretamente à energia solar. Foram construídos oito sistemas cilíndricos-parabólicos usando água ou ar como fluido de trabalho.

Com a progressão no desenvolvimento de técnicas para a conversão de energia solar em outras formas de energia úteis na sociedade moderna nos últimos 84 anos, surgiram os coletores solares. Coletores solares são trocadores de calor que utilizam a radiação solar para aquecer um fluido. O coletor capta a radiação solar e a direciona a um fluido (ar, água ou óleo em geral), de modo a gerar calor (KALOGIROU, 2014).

De acordo com Kalogirou (2014) existem dois tipos de coletores solares: não-concentradores e concentradores. Os coletores não-concentradores são recomendados a sistemas que necessitem de baixa temperatura. Em sistemas que demandam temperaturas mais elevadas, são mais recomendados os coletores solares concentradores, dotados de uma superfície refletora que direciona a irradiação solar a um ponto focal receptor de radiação. Os coletores solares ainda podem ser classificados em estacionários ou rastreadores.

Dentre os rastreadores, os coletores podem rastrear em um eixo ou em dois eixos. Neste trabalho, adotou-se um coletor solar concentrador de geometria cilíndrica parabólica com sistema de rastreamento mono-axial. No foco da parábola, é posicionado um tubo de vidro de superfície enegrecida e interior de cobre, com uma câmara interna de vácuo para isolamento térmico. No interior do tubo, utiliza-se a água como fluido que será aquecido pela energia solar concentrada.

O rastreamento solar tem por objetivo aumentar a incidência de luz solar sob a superfície cilíndrica parabólica, assim atingindo maior eficiência na transferência de calor durante todo o dia. O mecanismo de rastreamento deve ser confiável e capaz de determinar a posição do sol

**Comentado [BHd52]:** Estes dois parágrafos realizam uma introdução histórica ao tema da energia solar e coletores solares, que será abordado no trabalho.

**Comentado [BHd53]:** Estes dois parágrafos explicam basicamente o funcionamento de um coletor solar concentrador, introduzindo o contexto.

com considerável precisão, além de controlar os motores acoplados ao coletor para atingir tal objetivo (KALOGIROU, 1996).

O uso de microcontroladores como o ESP32 ou ATmega2560 no processo de rastreamento solar oferece diversas vantagens na execução de um projeto de coletor solar, tanto no quesito eficiência quanto no quesito praticidade e facilidade de programação. Através da utilização da plataforma Arduino MEGA 2560 e 4 sensores luminosos do tipo LDR, o protótipo de rastreador solar construído no trabalho de da Rocha Queiroz et al. (2020) foi capaz de rastrear a posição do sol com tolerância de 1 grau, obtendo 39,5% de ganho de energia em um período de 13 dias de verão.

Ao utilizar a plataforma ESP32, além de controlar o aparato de rastreamento, é possível também hospedar um servidor web que irá exibir os dados coletados de temperatura, irradiação e eficiência do coletor ao usuário do coletor em tempo real, sendo que através da comunicação do ESP32 com um computador local, torna-se possível o processamento de informações mais complexas. A implementação desta interface torna a tarefa de identificação de problemas no aparato menos árdua, facilitando a manutenção e conservação do aparato, além de facilitar também a análise dos dados extraídos dos sensores acoplados.

Segundo Avallone (2017), coletores solares por placa plana possuem eficiência térmica inicial maior quando comparados aos resultados obtidos com o tubo evacuado, porém pecam na constância desta eficiência. Por outro lado, apesar de possuírem menor eficiência quando utilizados a baixas temperaturas, os coletores de tubo evacuado são os mais vantajosos ao nosso trabalho, devido à sua alta e constante eficiência térmica em regimes de altas temperaturas geradas pela concentração de energia solar.

No desenvolvimento deste trabalho, adotou-se a seguinte metodologia: no que tange aos componentes mecânicos, executamos sua construção no software de modelagem 3D *Autodesk Inventor*. Já o sistema elétrico e seus componentes, foram projetados e abordados através de simulações no software *Proteus*. A fim de analisar o custo-benefício da máquina e conhecer suas características, utilizou-se, em primeira instância, métodos analíticos para obter valores aproximados destas grandezas.

Em segundo plano, sucedeu-se a avaliação do funcionamento do coletor por meio de modelos computacionais e métodos numéricos, simulando o funcionamento do aparato em campo, através do uso da linguagem de programação *Python*. Como expõe Silva e Viegas (2020), as simulações computacionais em ambiente *Python* são ferramentas didáticas muito úteis pois, através dos gráficos e dados gerados por um programa em ambiente virtual, podemos explorar fenômenos complexos de modo a obter maior compreensão sobre estes.

**Comentado [BHdS4]:** O primeiro parágrafo expõe o que foi adotado no trabalho, o segundo discorre mais precisamente sobre o funcionamento do rastreador.

**Comentado [BHdS5]:** Estes dois parágrafos justificam a automação do rastreamento solar por meio de microcontroladores e justifica também a utilização de um sistema web para reporte de informações ao usuário.

**Comentado [BHdS6]:** Este parágrafo justifica a escolha do tubo evacuado como receptor do foco de irradiação.

**Comentado [BHdS7]:** Este parágrafo discorre sobre a abordagem teórica do projeto, ou seja, iremos tratar apenas da sua esquematização, mas não iremos construí-lo, tendo em vista as problemáticas pandêmicas.

**Comentado [BHdS8]:** Este parágrafo discorre sobre a abordagem numérica e as simulações computacionais.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Analisar a eficiência do coletor concentrador solar de geometria cilíndrica parabólica por tubo evacuado e simular seu funcionamento em campo através de modelagem computacional e métodos numéricos.

### 2.2 Objetivos específicos

Implementar o sistema de rastreamento solar no coletor, de modo a direcionar a parábola para a posição do sol no céu utilizando os motores acoplados;

Criar um sistema de controle e reporte de energia e eficiência do coletor que seja acessível por meio da Internet;

Analisar o custo-benefício do equipamento quando comparado aos sistemas usuais de aquecimento, como o chuveiro elétrico.

**Comentado [BHd59]:** Em reunião com o orientador, discutimos sobre a existência ou não de uma hipótese em nosso trabalho.

Ficou acordado que, nosso objetivo é estudar o funcionamento do coletor solar em questão através de simulações computacionais, automatizá-lo no quesito rastreamento e implementar um sistema web, de modo que a utilização deste para o aquecimento de água residencial foi dispensada.

Assim, até o momento não há nenhuma hipótese a ser testada.



### **3 DESENVOLVIMENTOS**

O desenvolvimento descreve, de modo detalhado, como a pesquisa foi realizada, explicitando quais métodos e técnicas foram empregados.

#### **3.1 Título Nível 2 – Seção secundária**

O trabalho foi desenvolvido utilizando...

##### **3.1.1 Título Nível 3 – Seção terciária**

Como...

##### **3.1.1.1 Título nível 4 – Seção quaternária**

Toda alínea deve ser precedida de texto explicativo, precedida de dois pontos:

- a)** alínea 1;
- b)** alínea 2,
  - subalínea 1;
  - subalínea 2; e
- c)** alínea 3.

## 4 ILUSTRAÇÕES

As ilustrações compreendem: desenhos, esquemas, fluxogramas, fotografias, gráficos, mapas, organogramas, plantas, quadros, retratos, figuras, imagens, etc. Sua identificação aparece SEMPRE na parte superior, precedida da palavra designativa e seguida de seu número de ordem de ocorrência no texto, em algarismos arábicos, travessão e respectivo título. Já a fonte consultada (elemento obrigatório, mesmo que a produção seja do autor), deve ser colocada abaixo da ilustração.

**Quadro 1** – Exemplo do uso de fonte, corpo e caracteres (fonte 11)

Fonte: a critério do autor	Corpo	Caracteres
Para registrar o nome da Instituição	12	Maiúsculo e negrito
Para o texto	12	Minúsculo

**Fonte:** Autoria própria (fonte 10)

**Tabela 1** – Produtos de soja dos principais estados produtores (fonte 11)

ESTADO	PRODUTIVIDADE (t/ha)	CUSTO TOTAL (R\$ por Saca de 60 kg)	RECEITA (R\$/ha)	PREÇO MÉDIO (R\$ por Saca de 60 kg)	RESULTADO (R\$/ha)	MARGEM SOBRE A VENDA (%)
Paraná	3,0	16,6	1.265	25,3	435	34,4
Goiás	2,9	17,1	1.108	22,9	282	25,5
Maranhão	2,7	17,8	1.071	23,8	268	25,0
Mato Grosso	3,1	16,8	1.121	21,7	255	22,8
Mato Grosso do Sul	2,7	18,3	1.054	23,4	230	21,9
Rio Grande do Sul	2,5	20,7	1.080	25,9	217	20,1
Bahia	2,7	17,4	977	21,7	192	19,7
Minas Gerais	2,5	20,0	1.000	24,0	167	16,7

**Fonte:** SIQUEIRA, 2004, p. 157. (fonte 10)

## **5 CONCLUSÃO**

Conclusão é a síntese do trabalho fundamentada nos resultados, na discussão e vinculada aos objetivos sem, no entanto, justificá-los.

Propostas de novas pesquisas e soluções para os problemas detectados podem ser apresentadas.

## 6 REFERÊNCIAS

AVALLONE, E. [UNESP. Estudo de um coletor solar, tipo tubo evacuado modificado, utilizando um concentrador cilíndrico parabólico (CPC). 30 out. 2017.

DA ROCHA QUEIROZ, J. et al. Construction and Automation of a Microcontrolled Solar Tracker. **Processes**, v. 8, n. 10, p. 1309, out. 2020.

JORDAN, R. C.; IBELE, W. E. **Proceedings of the World Symposium on Applied Solar Energy, Phoenix, Arizona November 1-5, 1955 / sponsored by the Association for Applied Solar Energy ... [et al.]**. Menlo Park, Calif.: Stanford Research Institute, 1956.

KALOGIROU, S. **Solar energy engineering: processes and systems**. Second edition ed. Amsterdam ; Boston: Elsevier, AP, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014.

KALOGIROU, S. A. Design and construction of a one-axis sun-tracking system. **Solar Energy**, v. 57, n. 6, p. 465–469, 1 dez. 1996.

KALOGIROU, S. A. Solar thermal collectors and applications. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 30, n. 3, p. 231–295, 1 jan. 2004.

RAGHEB, M. **SOLAR THERMAL POWER AND ENERGY STORAGE HISTORICAL PERSPECTIVE**. Disponível em: <<http://www.ragheb.co/NPRE%20498ES%20Energy%20Storage%20Systems/Solar%20Thermal%20Power%20and%20Energy%20Storage%20Historical%20Perspective.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2020.

SILVA, B. H.; VIEGAS, R. G. MODELAGEM COMPUTACIONAL DO MOVIMENTO DE QUEDA COM RESISTÊNCIA DO AR. p. 5, 2020.



## **APÊNDICE A – MODELOS DE ESTRUTURAS ORGANIZACIONAIS**

O apêndice é o documento auxiliar, de criação do autor da pesquisa, com a finalidade de complementar sua argumentação. Deve ser precedido da palavra APÊNDICE, identificado por letras maiúsculas consecutivas, travessão e respectivo título. A paginação deve ser contínua à do texto principal.

## **ANEXO A – TÍTULO DO ANEXO**

Ao contrário do apêndice, o anexo é um documento auxiliar, não elaborado pelo autor, que fundamenta, comprova e ilustra o trabalho. É identificado por letra maiúscula, travessão e título do anexo. A paginação deve ser contínua à do texto principal.

## **CONFIGURAÇÕES GERAIS (VALEM EM TODOS OS CAPÍTULOS)**

### **FORMATO**

- Os textos devem ser digitados em cor preta e se impresso no papel branco ou reciclado no formato do papel: A4 (21 cm x 29,7 cm);
- Recomenda-se que os elementos textuais e pós textuais sejam digitados no anverso e verso das folhas;
- As margens devem ser para o anverso: 3 cm (esquerda e superior) e 2 cm (direita e inferior); para o verso 3 cm (direita e superior) e 2 cm (esquerda e inferior);
- Recomenda-se, a fonte tamanho 12 para todo o trabalho, excetuando-se para citações com mais de 3 linhas, notas de rodapé, paginação, legendas e fontes das ilustrações e tabelas, que devem ser em tamanho menor e uniforme;

### **ESPAÇAMENTO**

- Todo texto deve ser digitado com espaçamento 1,5 entre as linhas, excetuando-se citações com mais de 3 linhas, notas de rodapé, paginação, legendas e fontes das ilustrações e tabelas, natureza (tipo do trabalho, objetivo, nome da instituição, área de concentração), que devem ser digitados em espaço simples.

Em caso de dúvidas, entre em contato com a biblioteca

*E-mail:* biblioteca.ctd@ifsp.edu.br



## REFERÊNCIAS NORMATIVAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **ABNT NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **ABNT NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **ABNT NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **ABNT NBR 6027**: informação e documentação: sumário: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **ABNT NBR 6028**: informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (Rio de Janeiro). **ABNT NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Normas de apresentação tabular**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.