

e-TEC

Revista de
Tecnologia e
Ciência

Editora Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina

Edição V4- ano 2022 – Londrina Paraná

Corpo Editorial

Editor Chefe – Edição V4-2022
Prof. Dr. Vicente de Lima Gongora

Comitê Executivo

Prof. Anderson P. Àvila dos Santos
Prof.^a Adriana G. Carvalho
Prof.^a Dra. Camila F. de Oliveira
Prof. Fábio R. Milanez
Prof. MSc. Renato Kazuo Myiamoto
Prof. Dr. Rodolfo A. Hildebrandt
Prof. Dr. Vicente de Lima Gongora
Prof. Wesley Candido da Silva

Editora: Faculdade de Tecnologia Senai Londrina

ISSN: 2358-5528

Direitos reservados

Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina

Rua Belém, 844 – Londrina PR.

43 -3294-5100 – faculdade.londrina@sistemafiep.org.br

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida sem a autorização prévia e escrita da Editora Faculdade da Indústria SENAI Londrina.

Este periódico publica nomes individuais, comerciais, marcas registradas e produtos pertencentes a diversas companhias. O Editor utiliza-se destes nomes somente para fins editoriais e em benefício dos proprietários dos nomes e marcas, sem intenção de atingir seus direitos.

Observa-se ainda que os dados contidos nos artigos são de responsabilidade dos próprios autores.

e-TEC

Revista de
Tecnologia e
Ciência



Carta ao Leitor!

Olá leitores e demais membros da comunidade acadêmica; este ano de 2022 foi muito especial, no primeiro momento, o desafio interturmas, no acolhimento dos calouros, como resgate da nossa metodologia com foco em resolver problemas reais; visando fortalecer os trabalhos de forma cooperativa; vocês trabalharam cada unidade curricular individualmente, mas observando o desenvolvimento de atividades extra curriculares e de extensão curricular nas jornadas de aprendizagem; envolvendo as interdisciplinares, e algumas vezes intercursos; e, foram além; no cumprimento de nossa missão. Foi intensa a busca pela excelência, na retenção de nossos alunos, de forma exemplar; culminando nos excelentes resultados obtidos pela Faculdade da Indústria SENAI Londrina, nas visitas de reconhecimento dos cursos de Eng. de Software, Eng. Elétrica e Tecnologia em Automação Industrial, pelo MEC.

Trabalhamos além das disciplinas para abordar as questões mais prementes de nosso tempo.

Nossa abordagem de ensino e pesquisa é, por definição, altamente interdisciplinar.

Esse compromisso com a qualidade de nossa comunidade, permite que nossos alunos de graduação, pós-graduação, professores e pesquisadores avancem os conhecimentos, façam descobertas inovadoras e desenvolvam tecnologias, produtos e ideias com potencial para melhorar a vida das pessoas em todo o mundo; além de, fortalecer a indústria.

Agradecemos de forma muito especial a cada um de vocês, tenham a certeza de que foram a parte principal destes grandiosos momentos vividos no ano de 2022.

Percebe-se na grande maioria dos alunos, através dos seus relatos e vídeos, o respeito notório pela contribuição que cada um de vocês realiza, seja através das ações direcionadas ao atendimento do perfil profissional do egresso ou, do ambiente fortalecido pela cooperação.

E para 2023? Muitas novidades!! Mais uma sede em Londrina, nos tornaremos UniSenai Pr, campus Londrina em breve; novos lançamentos, novas e desafiadoras jornadas e com certeza como característica marcante desta nossa equipe, faremos o nosso melhor para que a nossa contribuição seja efetiva na transformação na vida de cada um de vocês.

Vamos juntos, já temos muito para celebrar, aproveitem esta edição!

Prof. Dr. Vicente Gongora

Sumário

Capítulo I: Análise de velocidade do movimento da roda de um triciclo elétrico: Jornada de aprendizagem.....	4
Capítulo II: Efeito da Temperatura em um kit didático de Geração Solar para uso noturno: Jornada de aprendizagem	15
Capítulo III: Protótipo mecânico de um Braço Robótico: Jornada de aprendizagem.....	26
Capítulo IV: Aplicação de Lógica Fuzzy no Controle de Combustão em Caldeiras de Alta Pressão	42

Capítulo I: Análise de velocidade do movimento da roda de um triciclo elétrico: Jornada de aprendizagem

Jean Carlos de Lima
Fabio Costa Magro
Lucas Cogo Bittencourt
João Guilherme Inacio Pereira
Guilherme Noda Camargo
Camila Fogaça de Oliveira
Rodolfo Alexandre Hildebrandt

RESUMO

Com uma necessidade de uma alternativa de locomoção movida a uma fonte de energia limpa e renovável construímos um triciclo movido a energia elétrica. Neste trabalho, realizamos uma coleta de dados e com ajuda do software *Tracker* foi possível analisar a velocidade do movimento da roda quando acionado o triciclo elétrico.

Palavra-chave: Energia Limpa. Renovável. Triciclo. Velocidade.

ABSTRACT

With a need for an alternative locomotion powered by a clean and renewable energy source, we built a tricycle powered by electricity. In this work, we collected data and, with the help of the *Tracker* software, it was possible to analyze the speed of the wheel movement when the electric tricycle was activated.

Keyword: Clean Energy. Renewable. Tricycle. Velocity.

1 INTRODUÇÃO

Em tempos de uma pandemia mundial (decorrente do Covid 19) no qual nossa sociedade está convivendo com constantes aumentos de inflação, o custo de vida

está cada vez mais elevado, o que reflete no preço dos combustíveis. A revista *Mobiauto* publicou que em dois anos de pandemia o valor dos combustíveis atingiu um aumento de 60% (TORRES, 2022), o que equivale a quase quatro vezes do que a inflação oficial acumulada do período, de 4,52% em 2021 e 10,06% em 2022, segundo o IBGE.

Tendo em vista a necessidade de buscar alternativas a veículos que usam combustíveis fósseis e visando a crescente tendência da sociedade em uso de energia elétrica, projetamos um triciclo movido a partir de um motor elétrico. Neste trabalho, devido a necessidade de efetuarmos melhorias no protótipo existente, realizamos uma coleta de dados e com ajuda do software *Tracker* foi possível analisar a velocidade do movimento da roda quando acionado o triciclo elétrico.

2 METODOLOGIA

Para a iniciação do projeto, foi necessário realizar a subdivisão das tarefas a serem realizadas, separando os sistemas que compõem o triciclo: sistema mecânico e sistema elétrico.

O sistema mecânico do triciclo (Figura 1) é composto por um quadro de metalon 1020, três amortecedores (sendo o amortecedor frontal de uma bicicleta e os dois amortecedores traseiros de uma motocicleta), duas rodas traseiras aro 26 e uma roda dianteira aro 20 com um motor elétrico e um sistema de freio a disco acoplado.

Figura 1- Sistema mecânico



Fonte: Elaborado pelos autores.

O sistema elétrico do triciclo (Figura 2) é composto por três baterias automotivas de 12v ligadas em série, conectadas a um inversor de corrente contínua para corrente alternada, ligados a um motor elétrico acoplado a roda dianteira e a um acelerador na manopla direita, junto a chave de ignição. Para fixar as baterias foram utilizadas cinco canaletas metálicas, três parafusadas na parte frontal das baterias e duas nas laterais, para impedir que elas tocassem as rodas quando em movimento.

Figura 2- Sistema elétrico



Fonte: Elaborado pelos autores.

Em nossa análise, para realizar a coleta de dados necessários, colamos uma fita adesiva na roda dianteira que possui o motor acoplado, colocamos o triciclo em funcionamento com a roda motriz elevada e realizamos uma gravação da lateral da roda quando em movimento. Assim, com a marcação da fita adesiva foi possível realizar a análise de dados.

3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A situação proposta para este trabalho foi identificar a velocidade do movimento da roda do triciclo elétrico desconsiderando atrito com o solo. Para realizar as análises,

foi necessário gravar um vídeo onde pudesse mostrar sua rotação de forma que os dados pudessem ser obtidos com clareza.

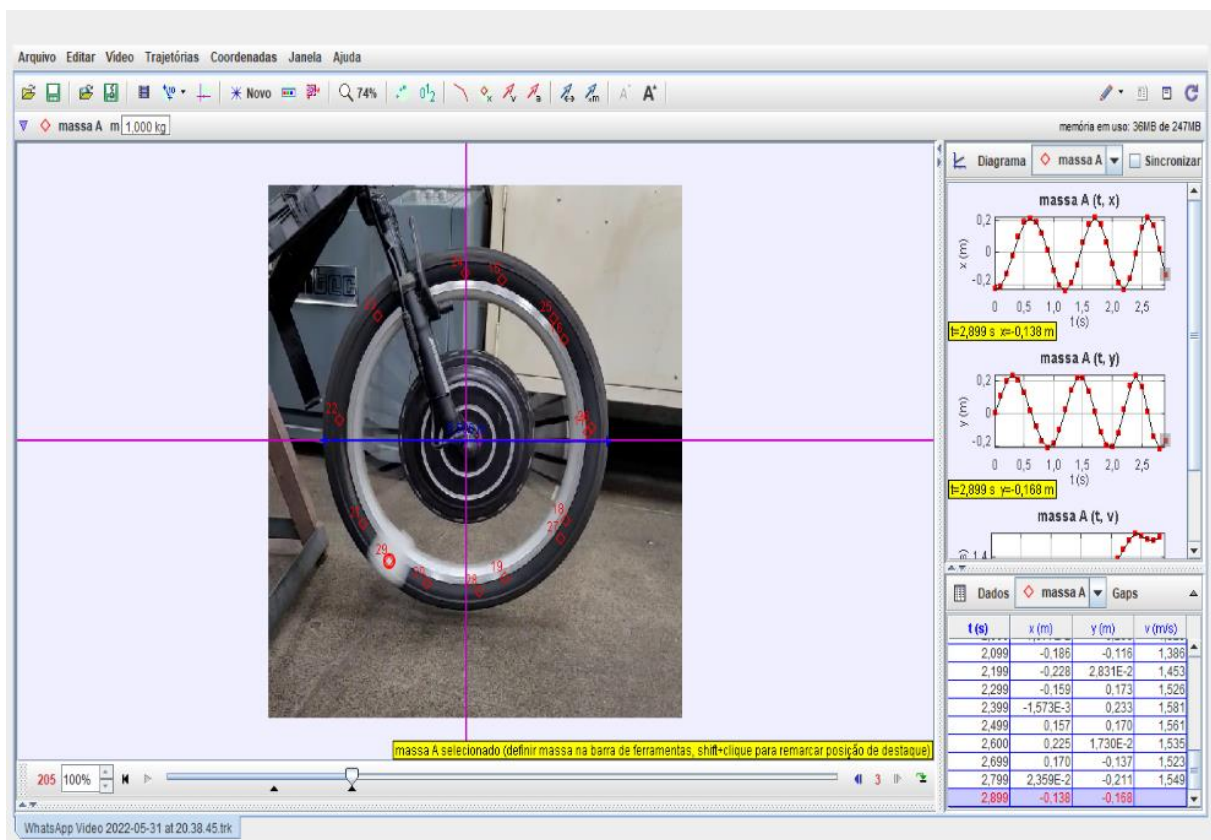
Para realizar o vídeo foi necessário suspender a frente do triciclo, deixando a roda motora de 44 cm de diâmetro sem contato com o solo e realizar uma marcação com fita para que pudesse ter um ponto de referência para melhor captação dos dados.

Utilizando um software gratuito de vídeo análise, *Tracker: vídeo analysis and modeling*, que permite por meio de vídeo analisado, a construção de modelos de fenômenos físicos foi possível a obtenção dos dados necessários para execução do trabalho. Nesse caso,

após carregar um vídeo, que pode ser produzido de forma simples, com qualquer câmera digital, por exemplo, o programa oferece opções de selecionar um conjunto de quadros para ser analisado. Neste caso, o programa apresenta um frame por vez e em cada um deles destaca aspectos como, por exemplo, a posição de um corpo em relação a dado referencial. A partir daí exibe um conjunto de dados numéricos referentes às variáveis de interesse para a obtenção do modelo. (BORSSOI, 2013, p. 83)

Os dados obtidos por meio do software *Tracker* são apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Obtenção de dados no software *Tracker*



Fonte: Elaborado pelos autores.

Durante a rotação da roda, e por meio da marcação com a fita, o programa registrou, em intervalos de tempo, sua posição que é representada através de pontos vermelho. Automaticamente o software ilustrou os gráficos, representando as posições x e y em relação ao tempo e uma tabela com os respectivos valores (Tabela 1). Para a obtenção dos dados foi necessário definir um sistema referencial.

Tabela 1 - Dados Rotação da Roda

tempo (s)	x (metros)	y (metros)	tempo (s)	x (metros)	y (metros)
0,000	-0,225	0,005	1,500	0,064	0,223
0,100	-0,209	0,109	1,600	0,176	0,140
0,200	-0,127	0,200	1,700	0,219	0,011
0,300	-0,016	0,239	1,800	0,179	-0,112
0,400	0,104	0,211	1,900	0,069	-0,192
0,500	0,190	0,129	2,000	-0,071	-0,200
0,600	0,215	0,020	2,099	-0,186	-0,116
0,700	0,193	-0,079	2,199	-0,228	0,028
0,800	0,126	-0,164	2,299	-0,159	0,173
0,900	0,014	-0,208	2,399	-0,002	0,233
1,000	-0,112	-0,182	2,499	0,157	0,170
1,100	-0,204	-0,094	2,599	0,225	0,017
1,200	-0,233	0,025	2,699	0,170	-0,137
1,300	-0,186	0,146	2,799	0,024	-0,211
1,400	-0,074	0,225	2,899	-0,138	-0,168

Fonte: Elaborado pelos autores.

Utilizando como referência o centro da roda e a marcação com a fita, podemos observar, em relação ao eixo x e eixo y , a formação de um triângulo retângulo de ambos os lados como demonstra a Figura 4.

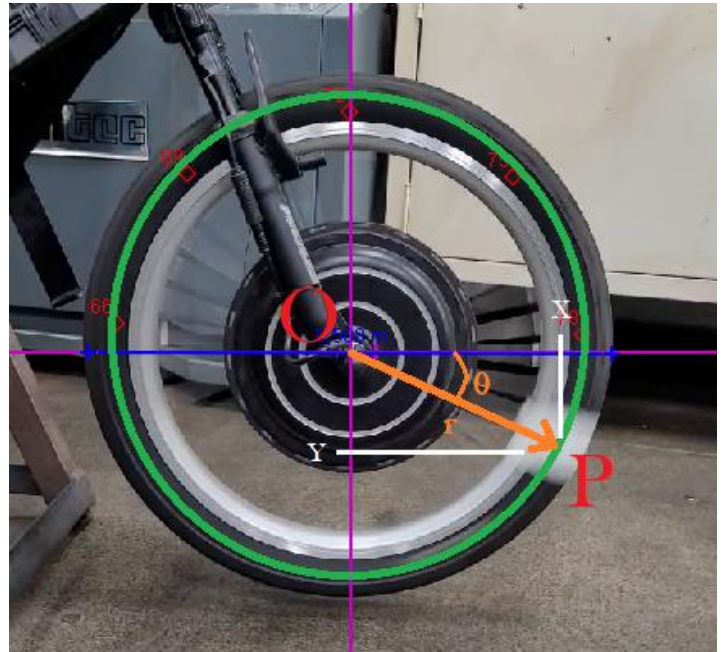
Tendo observado esta posição sobre a roda, podemos descrever a localização de P , a partir da distância de P à origem O do sistema, e do ângulo θ formado pelo eixo x e a reta OP . Denotamos $P = (r, \theta)$, onde r é a distância de P a O .

Figura 4 - Movimento da roda do triciclo elétrico

Considerando o triângulo retângulo OPx , obtemos as seguintes relações:

$$x = r \cos \theta \text{ e } y = r \sin \theta,$$

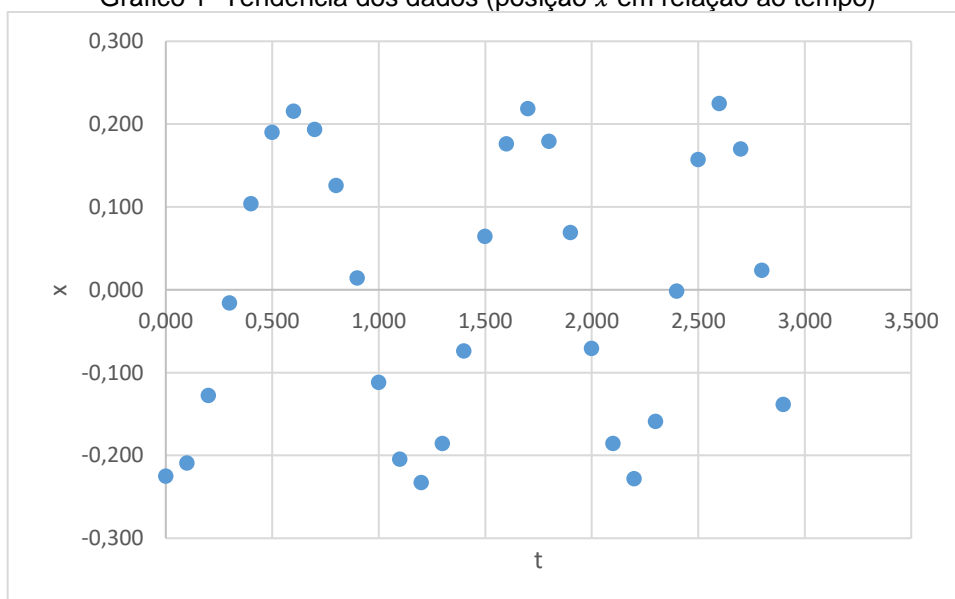
onde r é o raio da circunferência e θ é o ângulo entre a abscissa e o raio, como descreve a Figura 4.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Da Tabela 1, podemos fazer a tendência dos dados da posição x em relação ao tempo que corresponde ao Gráfico 1.

Gráfico 1- Tendência dos dados (posição x em relação ao tempo)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Desta forma descreve uma função cosseno, que é dada por:

$$x = r \cos \left(\frac{2\pi}{T} t + d \right)$$

onde r é o raio da circunferência, T é o período da função e d é o deslocamento horizontal do gráfico.

Neste caso, $r = 0,22\text{ m}$ corresponde a amplitude do gráfico, $T = 1,1\text{ s}$ corresponde ao tempo necessário para se completar uma volta e $d = \frac{0,75}{0,22} = 3,41\text{ s}$ corresponde ao deslocamento horizontal. O modelo matemático que descreve a posição x em relação ao tempo pode ser descrito por:

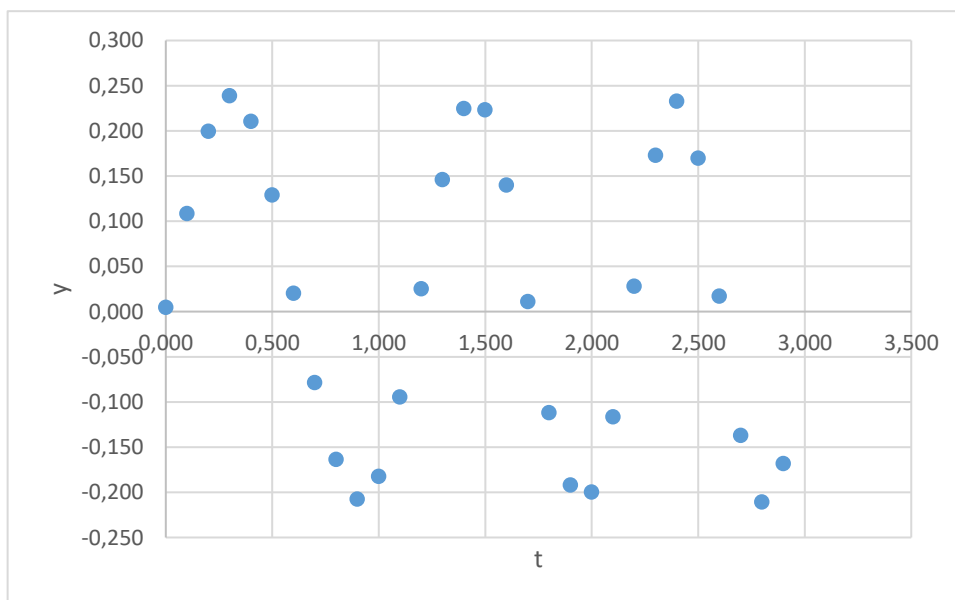
$$x = 0,22\cos\left(\frac{2\pi}{1,1}t - 3,41\right) \quad (1.1)$$

para $0 \leq t \leq 2,25$.

Observou-se por meio dos dados obtidos no *Tracker* que de 0 a 2,25s a rotação da roda permaneceu instável fornecendo um parâmetro similar em todas as voltas, e que a partir de 2,25s houve uma variação na velocidade (Tabela 2). Desta forma, para melhor compressão dos dados analisados, utilizaremos no modelo matemático apresentado, os dados de 0 a 2,25s onde a velocidade e rotação se repetiram em intervalos similares.

Da mesma maneira, podemos fazer a tendência dos dados da posição y em relação ao tempo que corresponde ao Gráfico 2.

Gráfico 2- Tendência dos dados (posição y em relação ao tempo)



Fonte: Elaborado pelos autores.

A função seno é descrita por:

$$y = r\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$$

onde r é o raio da circunferência e T é o período da função. Nota-se que neste caso não há a necessidade de utilizar os dados do deslocamento horizontal como sendo y o eixo analisado.

Sendo assim temos, $r = 0,22\text{ m}$ corresponde a amplitude do gráfico e $T = 1,1\text{ s}$ corresponde ao tempo necessário para se completar uma volta. O modelo matemático que descreve a posição y em relação ao tempo pode ser descrito por:

$$y = 0,22\text{sen}\left(\frac{2\pi}{1,1}t\right) \quad (1.2)$$

para $0 \leq t \leq 2,25$.

Podemos observar dentro deste período estudado ($0 \leq t \leq 2,25$), que o movimento realizado pela marcação feita pela fita na roda, apresentou rotações constantes e uniformes.

A validação dos modelos implicou em comparar os dados da Tabela 1 com os modelos (1.1) e (1.2) (Tabela 2).

Tabela 2 - Comparação entre os dados observados e os dados obtidos pelos modelos

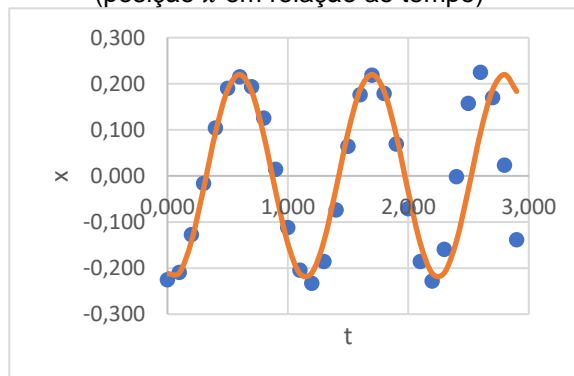
tempo (s)	x observado	x calculado	erro (%)	y observado	y calculado	erro (%)
0,000	-0,225	-0,212	5,778	0,005	0,000	100
0,100	-0,209	-0,210	0,476	0,109	0,119	8,403
0,200	-0,127	-0,141	9,929	0,200	0,200	0,000
0,300	-0,016	-0,027	40,747	0,239	0,218	8,786
0,400	0,104	0,095	8,653	0,211	0,166	21,327
0,500	0,190	0,187	1,578	0,129	0,062	51,937
0,600	0,215	0,220	2,272	0,020	-0,062	67,74
0,700	0,193	0,183	5,181	-0,079	-0,166	52,409
0,800	0,126	0,088	30,158	-0,164	-0,218	24,770
0,900	0,014	-0,035	60,000	-0,208	-0,200	3,846
1,000	-0,112	-0,147	23,809	-0,182	-0,119	34,615
1,100	-0,204	-0,212	3,773	-0,094	0,000	100
1,200	-0,233	-0,210	9,871	0,025	0,119	78,991
1,300	-0,186	-0,141	24,193	0,146	0,200	27
1,400	-0,074	-0,028	62,162	0,225	0,218	3,111
1,500	0,064	0,095	32,631	0,223	0,167	25,112
1,600	0,176	0,187	5,882	0,140	0,062	55,714
1,700	0,219	0,220	0,454	0,011	-0,061	81,967
1,800	0,179	0,183	2,234	-0,112	-0,166	32,530

1,900	0,069	0,088	21,590	-0,192	-0,218	11,926
2,000	-0,071	-0,035	50,704	-0,200	-0,200	0,000
2,099	-0,186	-0,147	20,967	-0,116	-0,119	22,689
2,199	-0,228	-0,212	7,017	0,028	-0,001	96,428
2,299	-0,159	-0,210	24,285	0,173	0,118	31,791
2,399	-0,002	-0,142	98,591	0,233	0,200	14,163
2,499	0,157	-0,028	82,165	0,170	0,218	22,018
2,599	0,225	0,094	58,222	0,017	0,167	89,820
2,699	0,170	0,187	9,090	-0,137	0,063	87,591
2,799	0,024	0,220	89,090	-0,211	-0,061	71,090
2,899	-0,138	0,183	24,590	-0,168	-0,166	1,190

Fonte: Elaborado pelos autores.

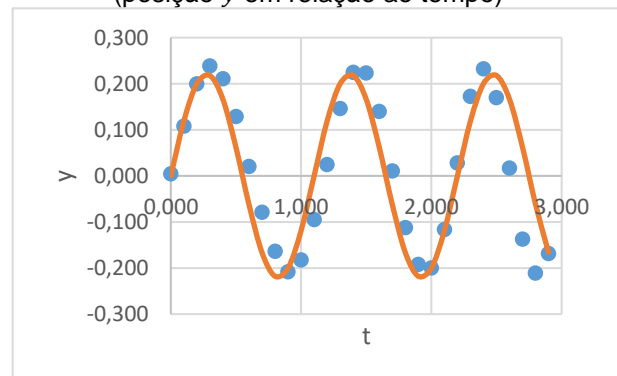
Os Gráficos 3 e 4 ilustram a comparação dos dados observados e calculados pelo modelo que descreve a posição x e y em relação ao tempo.

Gráfico 3 - Comparação entre os dados observados e os dados obtidos pelo modelo (posição x em relação ao tempo)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 4 - Comparação entre os dados observados e os dados obtidos pelo modelo (posição y em relação ao tempo)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os modelos apresentados descrevem a posição da fita marcada na roda como ponto de referência, podendo desta forma identificar sua posição e variação de rotação em um determinado instante de tempo. Graças aos dados obtidos podemos analisar a velocidade do movimento da roda dentro do instante de tempo estudado.

Nesse caso, podemos dizer que a velocidade da roda, refere se a rapidez pela qual a marcação da fita realiza seu movimento de rotação em um intervalo de tempo

e podemos descrever que a velocidade da roda é definida como a variação da distância da marcação da fita percorrida sobre a trajetória dividida pelo intervalo de tempo levado para percorrê-la:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

onde $r = 0,22 \text{ m}$ descreve o raio da trajetória/amplitude do gráfico e $T = 1,1 \text{ s}$ corresponde ao tempo necessário para se completar uma volta para $0 \leq t \leq 2,25$. Para este intervalo, podemos afirmar que $v = 1,2566 \text{ m/s}$, o que equivale a $v = 4,523 \text{ km/h}$.

Além disso, é possível vislumbrar de acordo com os Gráficos 3 e 4 que para valores $t > 2,25$ segundos, a velocidade do movimento da roda do triciclo elétrico se tornou maior, pois o período da função ficou menor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste de trabalho foi desenvolvido uma análise da velocidade atingida pela roda motora de um triciclo elétrico (desconsiderando o atrito com o solo) e os dados coletados passaram por uma análise gráfica gerada pelo programa *Tracker*.

Após esse processo foi constatado que os dados obtidos de 0 a 2,25s a rotação da roda permaneceu estável fornecendo um parâmetro similar em todas as voltas, e que a partir de 2,25s houve uma variação na velocidade.

Podemos então observar que dentro deste período estudado, o movimento realizado pelo ponto de referência feita na roda, descreve um movimento circular com velocidade linear de módulo constante. Neste caso podemos conjecturar como hipóteses que o módulo da velocidade é constante, mas a direção e o sentido são variáveis e que se trata de um movimento periódico, repetindo-se em intervalos de tempos iguais.

REFERÊNCIAS

BORSSOI, A. H. **Modelagem Matemática, Aprendizagem Significativa e Tecnologias: articulações em diferentes Contextos Educacionais**. 256 p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.

TORRES, C. Preços dos combustíveis já subiram até 60% em 2 anos de pandemia. **Mobiauto**. Disponível em: <<https://www.mobiauto.com.br/revista/precos-dos-combustiveis-ja-subiram-ate-60-em-2-anos-de-pandemia/1611>>. Acesso em: 14/06/2022.

Capítulo II: Efeito da Temperatura em um kit didático de Geração Solar para uso noturno: Jornada de aprendizagem

Callebe Espanga da Cruz
John Everson Rodrigo Mello Jayme
Dra. Camila Fogaça de Oliveira

RESUMO

Com o objetivo de desenvolver um kit didático para demonstrar o funcionamento de um sistema fotovoltaico, foi necessário avaliar a eficiência do módulo fotovoltaico em relação à temperatura. Para isso, o módulo foi exposto a um conjunto de lâmpadas halógenas e foram coletados dados de temperatura por meio de um multímetro e uma câmera termográfica. Utilizando o software Curve Expert e o Método de Verhulst, analisamos os dados e determinamos um limite de temperatura para o funcionamento adequado do kit didático de geração solar noturna. Concluimos que a temperatura incidente não afeta o desempenho do sistema estando dentro do limite estabelecido.

Palavras-chave: Irradiação Solar. Sistema Fotovoltaico. Temperatura. Modelagem Matemática. Equações Diferenciais.

Evaluation of the Effect of Temperature in a Solar Generation didactic kit for night use

ABSTRACT

In order to develop a didactic kit to demonstrate the operation of a photovoltaic system, it was necessary to evaluate the efficiency of the photovoltaic module in relation to temperature. For this, the module was exposed to a set of halogen lamps and temperature data were collected by means of a multimeter and a thermographic camera. Using the Curve Expert software and the Verhulst Method, we analyzed the data and determined a temperature limit for the proper functioning of the nighttime

solar generation didactic kit. We conclude that the incident temperature did not affect the performance of the system being within the established limit.

Key words: Solar irradiation. Photovoltaic System. Temperature. Mathematical Modeling. Differential Equations.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho dos módulos fotovoltaicos é influenciado por diversos parâmetros, incluindo a intensidade da irradiação solar, o ângulo de inclinação dos módulos, a temperatura ambiente, a sujidade, a umidade relativa e a velocidade do vento, conforme afirmado por Foltz (2021). Além disso, Villalva (2015) afirma que quanto maior a temperatura de incidência, menor será a tensão elétrica que o módulo fotovoltaico apresentará.

Para investigar a interferência da temperatura na transferência de potência elétrica em um módulo fotovoltaico, foi elaborado um modelo matemático baseado em um teste de temperatura. O teste consiste em determinar o tempo de incidência do calor produzido pelo banco de lâmpadas no módulo fotovoltaico. Segundo a Lei de Ohm, a potência é proporcional ao produto da tensão pela corrente que circula em um equipamento, portanto, quanto menor for a tensão, menor será a potência e consequentemente a eficiência do módulo.

Este teste foi realizado com o objetivo de determinar a temperatura limite entre o conjunto de geração forçada e um módulo fotovoltaico, a fim de disponibilizar uma nova metodologia de ensino para alunos das áreas de tecnologias e engenharias sobre o funcionamento de um sistema fotovoltaico. O projeto didático tem como propósito permitir que a irradiação solar projetada no módulo fotovoltaico produza energia elétrica e que, desta forma, os estudantes possam aprender sobre a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia solar fotovoltaica

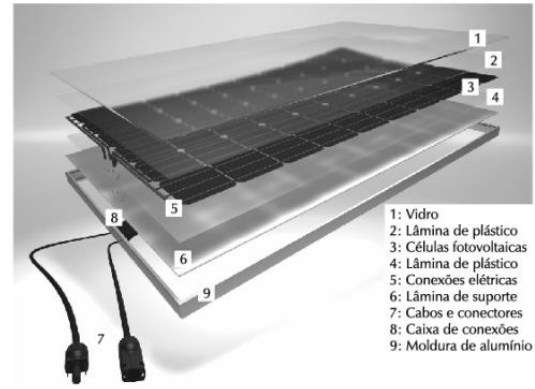
Segundo Villalva (2015), a transferência de energia em um sistema fotovoltaico ocorre por meio do movimento dos elétrons em camadas de semicondutores com dopagem apropriada quando expostos à radiação solar (Figuras 1 e 2), gerando uma corrente elétrica contínua.

Figura 1 – Usina de Eletricidade fotovoltaica



Fonte: Stockxchng.

Figura 2 – Componentes do módulo fotovoltaico



Fonte: Villalva (2015).

Ao contrário dos sistemas térmicos que utilizam a energia térmica do sol para gerar calor, nesse processo a corrente elétrica é coletada e passa por dispositivos de controle e conversão para corrente alternada, com modulação na mesma frequência e amplitude da rede elétrica. Essa corrente elétrica pode ser conectada simultaneamente à rede elétrica, proporcionando um fornecimento constante e confiável de energia elétrica.

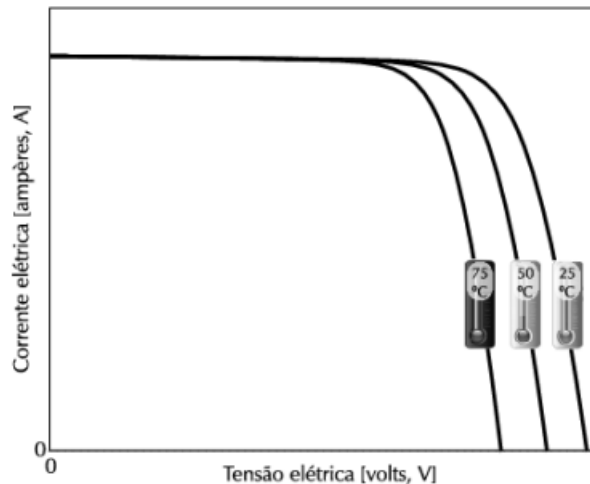
O módulo fotovoltaico é uma unidade básica do sistema fotovoltaico, composto por camadas de semicondutores com cargas negativas e positivas, camadas de proteção e construtivas, além de células fotovoltaicas que convertem a energia solar em energia elétrica. A instalação do módulo fotovoltaico é crucial para garantir um desempenho eficiente do sistema, e isso envolve a escolha de áreas adequadas, levando em conta fatores como a orientação solar, o ângulo de inclinação, a sombra e as condições climáticas locais.

A fixação do módulo também é uma etapa importante, pois é necessário garantir que ele esteja bem preso para suportar as condições de vento e outras adversidades. Além disso, é importante seguir as normas técnicas e de segurança durante a instalação para garantir a eficiência e a segurança do sistema.

2.2 Influência da temperatura

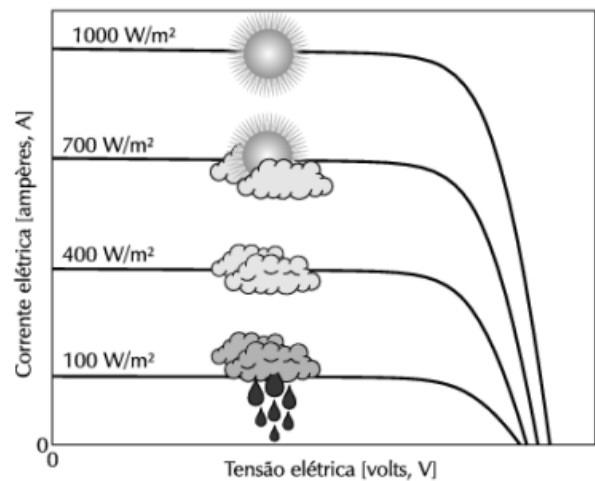
Segundo Villalva (2015), a temperatura é um fator que afeta a tensão no módulo fotovoltaico e, portanto, a potência que ele pode fornecer.

Figura 3 – Influência da temperatura na operação do módulo fotovoltaico



Fonte: Villalva (2015).

Figura 4 – Influência da radiação solar na operação do módulo fotovoltaico



Fonte: Villalva (2015).

A Figura 3 ilustra que a tensão diminui à medida que a temperatura aumenta e vice-versa. A corrente fornecida pelo módulo, por outro lado, não é afetada pela temperatura. Isso significa que a potência fornecida pelo módulo diminui quando a temperatura aumenta, já que a potência é o produto da tensão e da corrente do módulo.

A quantidade de irradiação solar recebida em um módulo fotovoltaico varia em função das condições climáticas (Figura 4), como a presença de nuvens ou cobertura parcial ou total do sol, afetando diretamente a intensidade da radiação solar incidente no módulo. Isso pode resultar em uma redução da energia elétrica produzida pelo módulo fotovoltaico.

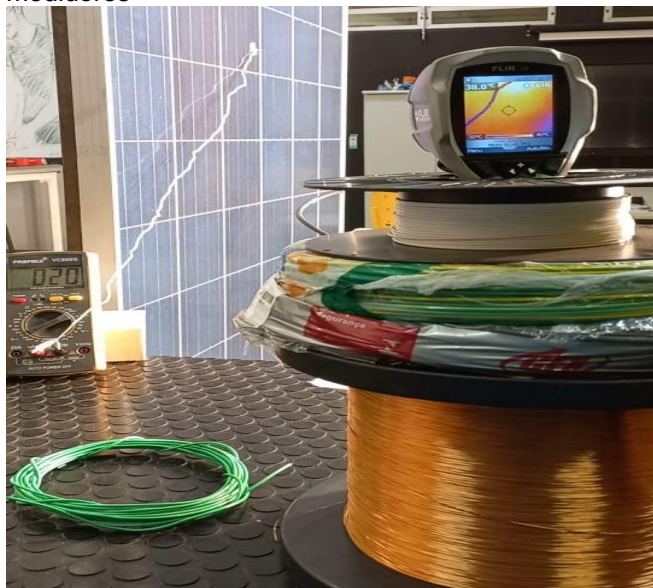
3 METODOLOGIA

O kit didático solar para estudo de energias renováveis durante o período noturno foi construído pelas turmas de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica como parte do projeto Jornada de Aprendizagem da Faculdade da Indústria Senai Londrina. Como o curso de graduação é noturno, não havia disponível um kit de energia solar para análise e verificação do seu funcionamento.

Para coletar dados sobre o efeito da temperatura no conjunto de lâmpadas halógenas, o módulo fotovoltaico foi posicionado a uma distância de 1000 mm de um banco de 8 lâmpadas halógenas de 300 W em uma sala específica (laboratório Maker). Foi feito o controle de temperatura (23°C, ambiente), desligando o ar-condicionado e deixando as janelas e portas abertas para permitir a maior refrigeração natural possível no ambiente de ensino.

Os valores de temperatura foram medidos utilizando dois instrumentos digitais de medição: um multímetro e uma câmera termográfica (Figuras 5 e 6). Além disso, a linha do tempo foi registrada com um gravador de vídeo de celular. A câmera termográfica foi fixada em um suporte estável e apontada para o centro da placa, enquanto o multímetro foi colocado próximo à placa, com sua ponta de medição de temperatura no centro da mesma.

Figura 5 – Dados de temperatura coletados com os medidores



Fonte: Dos autores.

Figura 6 – Valor de Tensão gerada pela placa medido com multímetro



Fonte: Dos autores.

Após a coleta de dados, as medições foram registradas e posteriormente inseridas manualmente em uma planilha eletrônica do Microsoft Excel. Os valores obtidos por meio do multímetro e da câmera termográfica foram organizados na Tabela 1, que apresenta as temperaturas registradas durante o experimento.

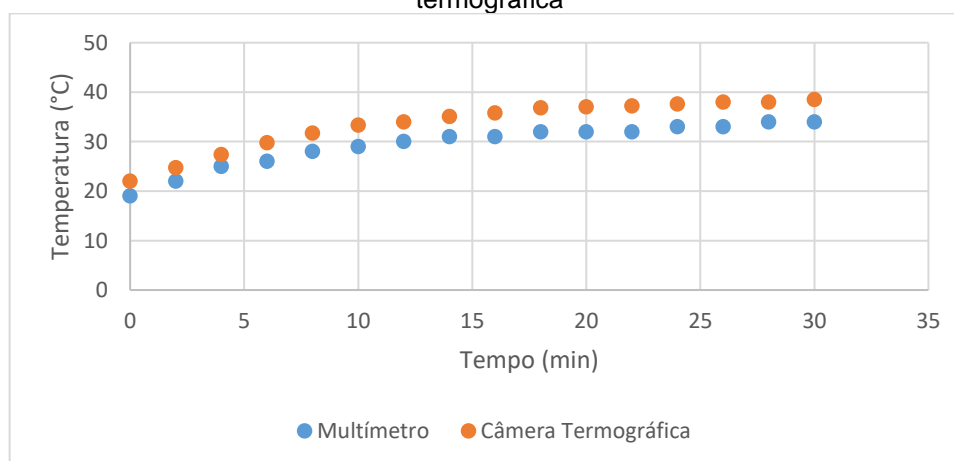
Tabela 1 – Dados coletados pelo Microsoft Excel

Tempo (min)	Temp. (°C) Multímetro	Temp. (°C) Câmera Termográfica
0	19	22,0
2	22	24,7
4	25	27,4
6	26	29,8
8	28	31,7
10	29	33,3
12	30	34,0
14	31	35,1
16	31	35,8
18	32	36,8
20	32	37,0
22	32	37,2
24	33	37,6
26	33	38,0
28	34	38,0
30	34	38,5

Fonte: Dos autores.

Com base nos dados apresentados na Tabela 1, é possível observar no Gráfico 1, a tendência da variação da temperatura registrada tanto pelo multímetro quanto pela câmera termográfica.

Gráfico 1 – Gráfico de comparação dos valores medidos com o multímetro e com a câmera termográfica



Fonte: Dos autores.

Nesse caso, temos como intuito observar a tendência dos dados, a fim de estimar a temperatura em qualquer instante de tempo.

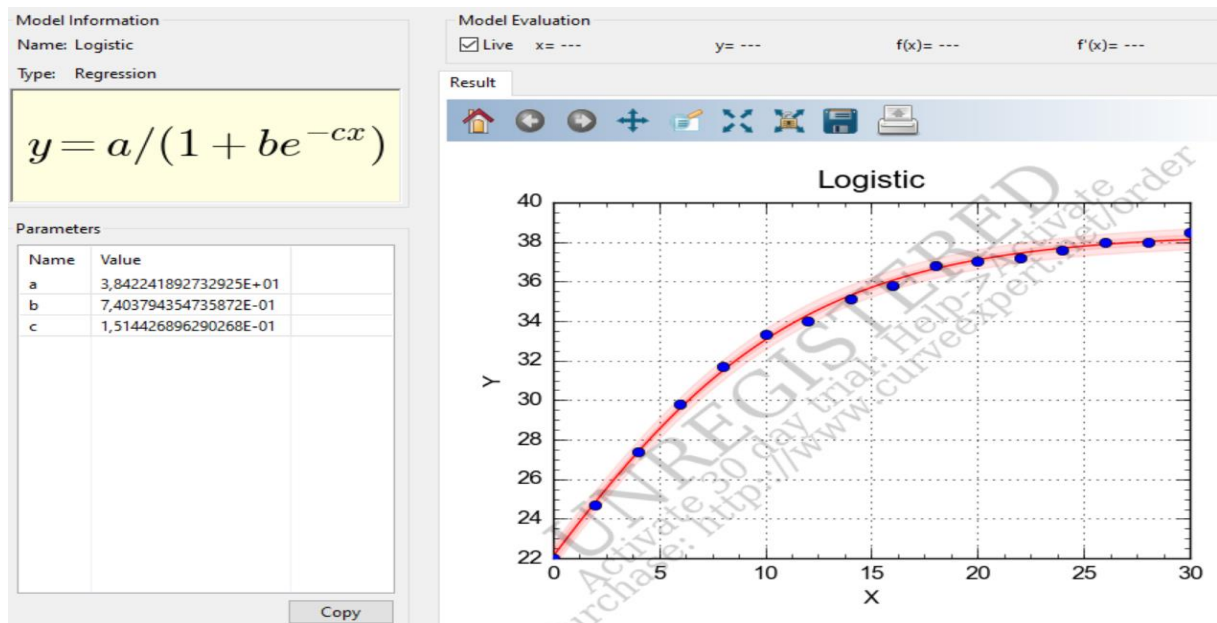
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Curve Expert

O software Curve Expert é uma ferramenta de ajuste de curvas e análise de dados, com suporte multiplataforma. Ele oferece uma ampla gama de opções para modelagem de dados e uma das suas principais vantagens é a capacidade de automatizar o processo de encontrar a melhor curva de ajuste, economizando tempo e esforço.

A Figura 7 ilustra o layout do programa e mostra o modelo logístico com a melhor aderência aos dados. O R^2 calculado, próximo a 1, indica que o modelo é satisfatório para análise das informações da Tabela 1.

Figura 7 – Modelo logístico



Fonte: Dos autores.

Nesse caso, o modelo matemático pode ser descrito por:

$$T(t) = \frac{38,4}{1 + 0,74e^{-0,1514t}}$$

onde $T(t)$ é a temperatura em graus Celsius e t é o tempo em minutos. O modelo Logístico prevê que o limite da temperatura entre o conjunto de geração forçada e o módulo fotovoltaico é de $38,4^{\circ}\text{C}$, ou seja,

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} T(t) = \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{38,4}{1 + 0,74e^{-0,1514t}} = \lim_{t \rightarrow +\infty} \frac{38,4}{1 + \frac{0,74}{e^{0,1514t}}} = 38,4^{\circ}\text{C}.$$

4.2 Método de Verhulst

Conforme Método de Verhulst podemos deduzir a variação de temperatura ao longo do tempo pela equação diferencial ordinária:

$$\frac{dT}{dt} = r \left(1 - \frac{T}{k}\right) T$$

Aplicando o método de separação de variáveis obtemos o seguinte resultado:

$$\int \frac{1 dT}{\left(1 - \frac{T}{k}\right) T} = \int r dt$$

Para resolver a EDO devemos aplicar o método das frações parciais:

$$\frac{1}{k} \int \frac{1}{1 - \frac{T}{k}} dT + \int \frac{1}{T} dT = \int r dt$$

Resolvendo as integrais em ambos os lados da equação, obtemos o valor da temperatura a um determinado tempo:

$$-\ln\left(1 - \frac{T}{k}\right) + \ln T = rt + c$$

$$e^{\ln\left(\frac{T}{1 - \frac{T}{k}}\right)} = e^{rt+c}$$

$$\frac{T}{1 - \frac{T}{k}} = C e^{rt}$$

Para encontrar o valor da constante C da integração, consideramos que a temperatura limite é de $k = 38,4^{\circ}\text{C}$ e a temperatura inicial de 22°C . Assim:

$$\frac{22}{1 - \frac{22}{k}} = C e^{r \cdot 0}$$

$$\frac{22}{1 - \frac{22}{38,4}} = C \cdot 1$$

Portanto, $C = \frac{22}{1 - \frac{22}{38,4}} = 51,51$.

Para encontrar o valor da constante r , consideramos $T(20) = 37\text{ °C}$, nesse caso:

$$\frac{T}{1 - \frac{T}{38,4}} = 51,51e^{rt}$$

$$\frac{37}{1 - \frac{37}{38,4}} = 51,51e^{r \cdot 20}$$

$$1014,8571 = 51,51e^{r \cdot 20}$$

Temos que $e^{20r} = \frac{1014,8571}{51,51} = 19,7021$, ou seja, $r = \frac{\ln(19,7021)}{20} = 0,1490$.

Sendo assim, temos o modelo matemático para estimar os valores de temperatura de um kit didático de geração solar para uso noturno ao longo do tempo:

$$\frac{T}{1 - \frac{T}{38,4}} = 51,51e^{0,1490t}$$

$$T = 51,51e^{0,1490t} \left(1 - \frac{T}{38,4} \right)$$

$$T = 51,51e^{0,1490t} - \frac{51,51}{38,4}e^{0,1490t}T$$

$$1T + \frac{51,51}{38,4}e^{0,1490t}T = 51,51e^{0,1490t}$$

$$T \left(1 + \frac{51,51}{38,4}e^{0,1490t} \right) = 51,51e^{0,1490t}$$

$$T = \frac{51,51e^{0,1490t}}{1 + 1,3414e^{0,1490t}}$$

Dividindo em ambos os lados da equação por $1,3414e^{0,1490t}$ temos:

$$T(t) = \frac{38,4}{0,74e^{-0,1490t} + 1}$$

Podemos concluir que a temperatura obtida no experimento teve uma evolução não linear ao longo do tempo, com limitante de $38,4\text{ °C}$. A Tabela 2 compara as temperaturas reais extraídas pela câmera termográfica e as medidas determinadas pelos modelos obtidos pelo software Curve Expert e Verhulst.

Tabela 2 – Comparação dos modelos matemáticos

Tempo (min)	Câmara Term. (°C)	Curve Expert (°C)	Verhulst (°C)
0	22,0	22,1	22,1
2	24,7	24,8	24,8
4	27,4	27,4	27,3
6	29,8	29,6	29,5
8	31,7	31,5	31,4
10	33,3	33,0	32,9
12	34,0	34,3	34,2
14	35,1	35,3	35,2
16	35,8	36,0	35,9
18	36,8	36,6	36,5
20	37,0	37,1	37,0
22	37,2	37,4	37,4
24	37,6	37,7	37,6
26	38,0	37,9	37,8
28	38,0	38,0	38,0
30	38,5	38,1	38,1

Fonte: Dos autores.

A temperatura ambiente ideal para o funcionamento de uma placa solar é de cerca de 25°C. No entanto, a temperatura real de operação pode variar significativamente devido a fatores externos, como as condições climáticas e as características do ambiente em que a placa está instalada.

A faixa de temperatura de operação das placas solares é um parâmetro crítico que deve ser levado em consideração ao selecionar um modelo específico para sua instalação. A maioria dos fabricantes disponibiliza essa informação em seus *datasheets*, indicando a faixa de temperatura que a placa pode suportar com segurança. Para placas solares convencionais, a faixa de temperatura de operação costuma variar entre -40°C e 85°C (Figura 8).

Figura 8 - Datasheet da placa utilizada produzida pela Balfar Solar

CLASSIFICAÇÕES DE TEMPERATURA		AVALIAÇÕES MÁXIMAS	
Coefficiente Operacional Nominal Temp	42±2°C	Temperatura Operacional	-40 – +85°C
Coefficiente de Temperatura de P _{max}	-0,38% / °C	Tensão Máxima do Sistema	1000V D C (IEC)
Coefficiente de Temperatura de V _{oc}	-0,28% / °C	Classificação Máxima dos Fusíveis das Séries	15A
Coefficiente de Temperatura de I _{sc}	0,04% / °C		

Fonte: Balfarsolar (2022).

É importante ressaltar que a eficiência da placa solar pode ser afetada negativamente se a temperatura ultrapassar os limites indicados no datasheet. Portanto, é fundamental avaliar a faixa de temperatura de operação do modelo escolhido para garantir a melhor performance e a longevidade da placa solar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização das análises comparativas por meio de distintos métodos, observou-se que a placa fotovoltaica apresenta uma temperatura operacional significativamente inferior àquela estabelecida pelo fabricante como limite máximo. Essa conclusão aponta para a viabilidade do sistema fotovoltaico como recurso didático, em que se verifica que a temperatura não interfere na coleta de dados em diferentes condições estabelecidas pelo kit didático solar noturno.

REFERÊNCIAS

BALFARSOLAR. **Datasheet Mono 370 W.** Disponível em: <<https://balfarsolar.com.br/wp-content/uploads/2019/10/BALFAR-DATASHEET-MONO-370W.pdf>>. Acesso em: 21/06/2022.

FOLTZ, Laura Luana. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Fevereiro - 2021. **Avaliação e comparação da eficiência de painéis fotovoltaicos instalados na Unioeste, campus de Cascavel (PR), considerando diferentes inclinações e níveis de sujidade.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2021. Disponível em: <<https://www5.unioeste.br/portaunioeste/arq/files/PPGEA/Dissertacao.Laura.Foltz.pdf>>. Acesso em: 21/06/2022.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica.** 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

Capítulo III: Protótipo mecânico de um Braço Robótico: Jornada de aprendizagem

Bruno de Oliveira Pegoraro

Diego Osmundo de Souza

Victor Hugo da Rocha

Alan Victor da Cruz

Wesley Cândido da Silva

Camila Fogaça de Oliveira

Renato Kazuo Miyamoto

Vicente de Lima Gongora

Fabio Rodrigo Milanez

RESUMO

Este projeto tem como objetivo desenvolver um dispositivo robótico de manipulação articulada de objetos através de articulações mecânicas com acionamento elétrico. Nosso trabalho traz tecnologias atuais que podem melhorar os processos, aumentar a produtividade, reduzir riscos de lesões por movimentos repetitivos e muitos outros benefícios. Através de estudos sobre robótica industrial e colaborativa, fomos capazes de criar um protótipo no qual é possível simular movimentos com juntas que possuem 5 graus de liberdade.

Palavras-chave: Robótica. Manipuladores. Robótica Colaborativa. Mecânica Robotica.

Mechanical prototype of a Robotic Arm

ABSTRACT

This project aims to develop a robotic device for articulated manipulation of objects through mechanical joints with electrical drive. Our work brings current technologies that can improve processes, increase productivity, reduce the risk of repetitive motion injuries and many other benefits. Through studies on industrial and collaborative robotics, we were able to create a prototype in which it is possible to simulate movements with joints that have 5 degrees of freedom.

Key words: Robotics. Manipulators. Collaborative Robotics. Robotic Mechanics.

INTRODUÇÃO

Com avanços tecnológicos, podemos encontrar alguns tipos de manipuladores robóticos que podem simular um braço humano, que surgiram para atender necessidades nos processos industriais.

Foi nos apresentado a proposta de fabricação e programação de um braço robótico. O projeto foi dividido em quatro grupos respectivos: programação, mecânica, eletroeletrônica, impressão e modelagem 3D.

Nosso grupo ficou responsável pelo desenvolvimento da parte mecânica, desde o levantamento de peças necessárias até a montagem do braço robótico.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

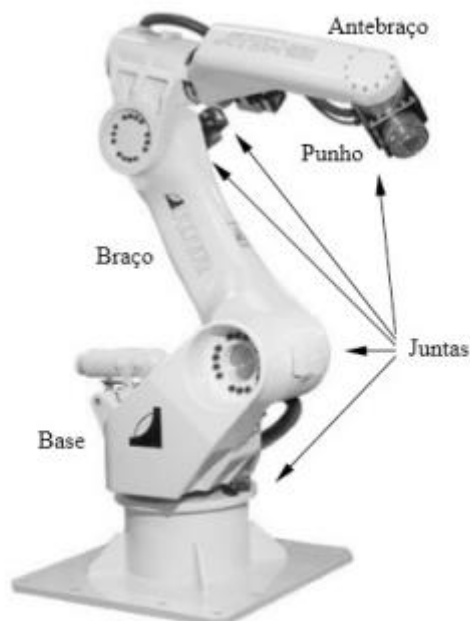
Nosso trabalho consiste em desenvolver um dispositivo robótico de manipulação articulada de objetos através de articulações mecânicas com acionamento elétrico.

Um braço mecânico robótico é capaz de se mover de várias formas devido aos seus eixos, podendo girar até 360° e realizar movimentos tanto para cima quanto para baixo. Normalmente podemos encontrar braços robóticos de 3 a 6 eixos, sendo que em seu último eixo se encontra o punho manipulador robótico, conectado com uma ferramenta de trabalho ou garra, o que irá determinar a função que o manipulador irá executar (SIMPLÍCIO, LIMA, JUNKES, 2016).

Os atuadores (por exemplo, os servomotores e motores de passo) são responsáveis pela movimentação do braço robótico e os sensores são responsáveis por enviar sinais elétricos em tempo real e coletar informações tais como: velocidade, posição, localização etc.

O braço mecânico antropomórfico (Figura 1) é um tipo de braço mecânico que se assemelha ao braço humano, no qual os elos são chamados sequencialmente de base, braço e antebraço.

Figura 1 – Robo Antropomórfico de 6 eixos



Fonte: Simplício, Lima e Junkes (2016).

As juntas dos robôs podem ser rotativas, prismática, cilíndrica, esférica, parafuso e planar. Suas funcionalidades são descritas a seguir. (CARRARA, 2022)

- A junta prismática ou linear: Move em linha reta. São compostas de duas hastes que deslizam entre si;
- A junta rotacional: Gira em torno de uma linha imaginária estacionária chamada de eixo de rotação. Ela gira como uma cadeira giratória e abrem e fecham como uma dobradiça;
- A junta esférica: Funciona com a combinação de três juntas de rotação, realizando a rotação em torno de três eixos;
- A junta cilíndrica: É composta por duas juntas, uma rotacional e uma prismática;
- A junta planar: É composta por duas juntas prismáticas, realiza movimentos em duas direções;
- A junta parafuso: É constituída de um parafuso que contém uma porca ao qual executa um movimento semelhante ao da junta prismática, porém, com movimento no eixo central (movimento do parafuso).

Robôs industriais utilizam em geral apenas juntas rotativas e prismáticas. A junta planar pode ser considerada como uma junção de duas juntas prismáticas, e, portanto, é também utilizada.

METODOLOGIA

Para este projeto escolhemos o BCN3D Moveo que tem 5 eixos, denominado de robô antropomórfico. Para sua realização destacam-se os seguintes pontos:

Projeto open source;

Controle compatível com Arduino;

Disponibilidade de arquivos CAD onde é possível redesenhar e adequar de acordo com o projeto;

Todas as peças podem ser fabricadas com impressora 3D;

Mecânica padronizada onde as peças necessárias (rolamentos parafusos e afins) são possíveis de ser adquiridas com facilidade em lojas do seguimento.

A estrutura do nosso manipulador será totalmente impressa utilizando impressora 3D, incluindo tecnologias de fabricação aditiva e seus eletrônicos, que são controlados pelo software Arduino.

Para início do nosso projeto nos foi apresentado um manual de peças, sendo possível realizar os levantamentos de peças necessárias para realização da montagem, desenvolvimento e funcionamento do projeto.

A metodologia adotada para a construção mecânica foi:

Análise do manual do usuário BCN3D Moveo para levantamento de peças necessárias;

Orçamentos;

Pedidos de compras;

Adquirir o conhecimento necessário sobre robótica;

Simulação de montagem no software SolidWorks;

Montagem e ajuste mecânico.

O primeiro passo foi catalogar através do software Excel, com a criação de planilhas onde foram separadas as peças por código e quantidades necessárias para a execução do projeto (Apêndice A). Após levantamento de peças necessárias foi solicitado pedido de compra de peças tais como correias e motores.

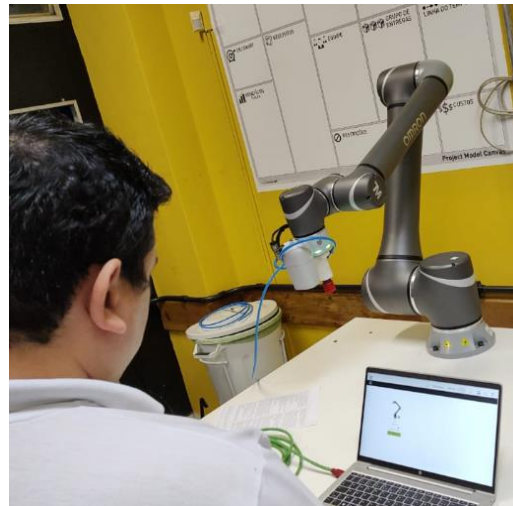
Dando continuidade ao nosso projeto foi iniciado um estudo sobre robótica, aprendendo a programar um robô de paletização em *melfa basic*. Nesse caso, foi possível observar na prática um braço robótico fazendo a manipulação de objetos, simulando um cenário industrial (Figura 2). Aprendemos também sobre a robótica colaborativa e simulação através do software TMflow, utilizando o robô TM12 da ONROM (Figura 3).

Figura 2 – Robô de paletização articulado



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 – Robô colaborativo TM12

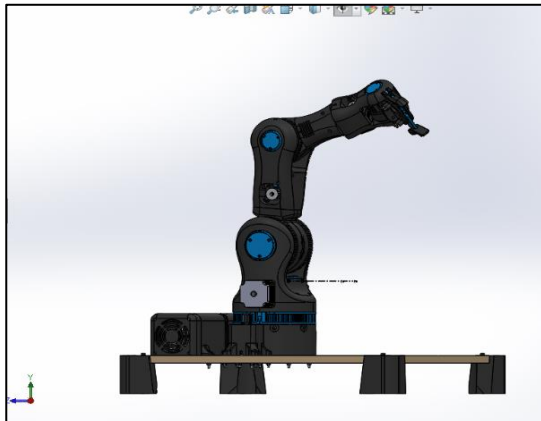


Fonte: Elaborado pelos autores.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

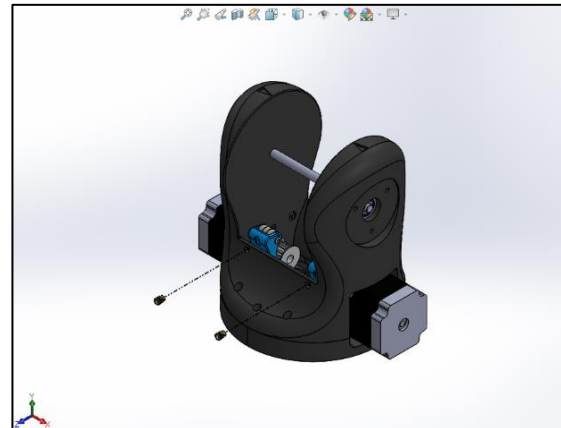
Iniciamos a construção do braço robótico realizando a simulação no software SolidWorks (Figuras 4 e 5), permitindo observar como a estrutura ficaria e a ordem das etapas a serem realizadas.

Figura 4 – Simulação de montagem do braço completo



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 5 – Simulação primeira junção



Fonte: Elaborado pelos autores.

Juntamente com a simulação de montagens já estava sendo realizada as impressões das peças do manipulador. Após todas as peças impressas e itens necessários (Figura 6), começamos então a montagem do braço.

Figura 6 - Itens necessários para a montagem





Fonte: Elaborado pelos autores.

Na primeira junção temos a base, onde foi feita a fixação de todas as peças subsequentes. Essa primeira junção é constituída das peças 1M2A e 1M2 (Figura 7), que foi fixado na base de sustentação e é responsável por mover o robô para a direita e esquerda com auxílio do motor de passo NEMA17. Por sua vez, o motor de passo ficou fixado na base 1M3 (Figura 8), realizando a tração por meio de uma transmissão por uma correia AT5 que será usada para os demais tracionamentos do robô (Manual BCN3D MOVEO).

Figura 7 – 1M2A e 1M2

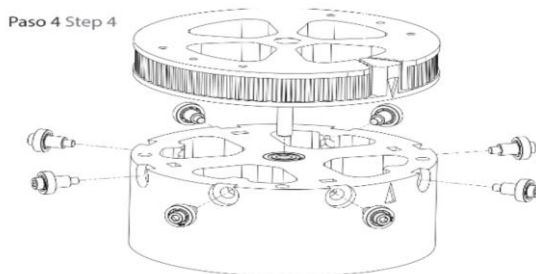
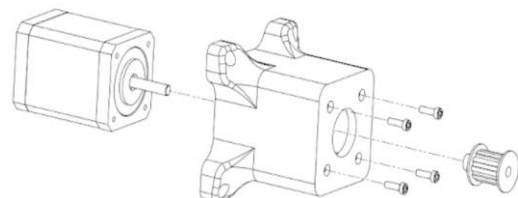


Figura 8 – Motor e suporte de fixação 1M3



Fonte: Manual BCN3D MOVEO (2022).

Fonte: Manual BCN3D MOVEO (2022).

O próximo passo foi a montagem dos rolamentos 624zz nos tensores T2M1 e T2M2 e a montagem na peça 2M1, possibilitando a fixação dos motores NEMA 23 que irão realizar a tração das peças 2M2H e 2M2M. Essas últimas peças estão presas por um eixo de 8x134mm e dois rolamentos 608zz que possibilitarão o movimento para cima e para baixo (Manual BCN3D MOVEO). Todo esse processo é possível observar na Figura 9.

Figura 9 – Montagem da primeira articulação



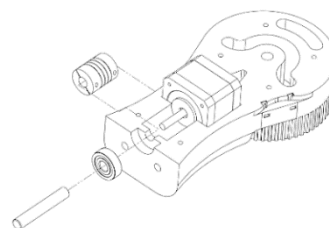
Fonte: Triana (2022).

Na sequência da montagem, a peça 3M1 será fixada na 2M2H e 2M2M. O tensor T3M1 servirá para tensionar a correia a um motor NEMA 17 e para tracionar as peças 3M2 e 3M2C, que serão fixadas por um eixo de 8x114mm e dois rolamentos 608 zz. Antes de fixar o eixo precisamos montar as peças 3M2 e 3M2C para fixação de um motor NEMA 14, com um acoplamento e uma haste roscada M8 para que deslize sobre um rolamento 608zz. Toda essa montagem será responsável pelo movimento da segunda junção, que realizará o movimento para cima e para baixo. Esse processo é possível verificar nas Figuras 10 e 11 (Manual BCN3D MOVEO).

Figura 10 – Montagem da segunda articulação



Figura 11 – Montagem peça 3M2, 3M2C





Fonte: Triana (2022).

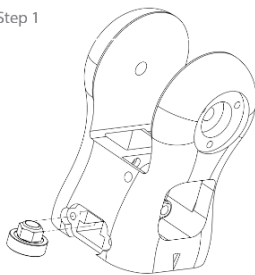


Fonte: Triana (2022).

Chegamos então nas últimas etapas do nosso processo de montagem, onde a peça 4M1 será acoplada a 3M2 e 3M2C por uma porca que será rosqueada sobre um rolamento 608zz na haste roscada M8. Isso possibilitará o movimento de 360° para a direita e para a esquerda. A peça 4M1 irá acoplar um motor NEMA14 que fará a tração das peças 4M2 e 4M2C e será fixada por um eixo de 8x80mm e dois rolamentos 608zz (Figuras 12 e 13).

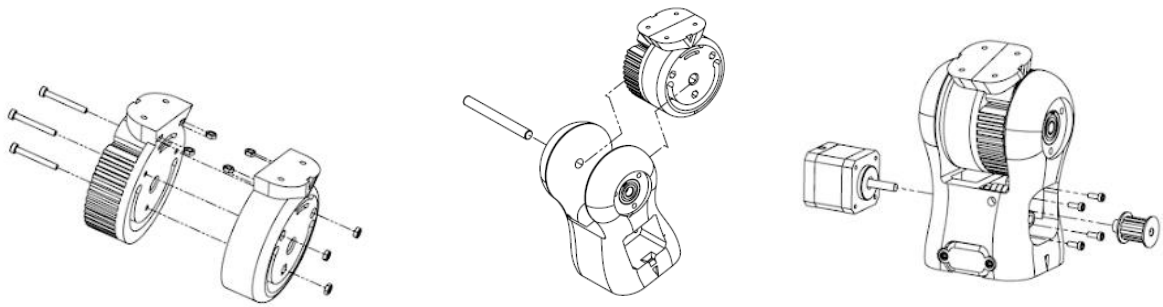
Figura 12 – Montagem Peça 4M1

Paso 1 Step 1



Fonte: Triana (2022).

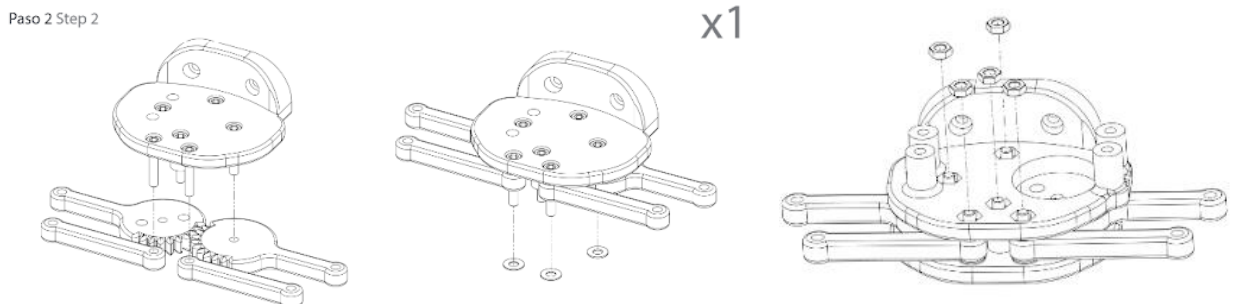
Figura 13 – Montagem da última junção



Fonte: Triana (2022).

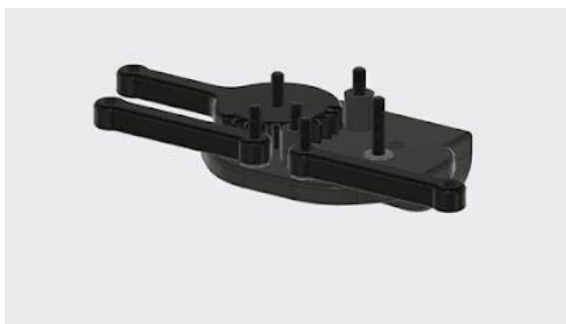
Nessa última etapa podemos simular a montagem da pinça, que será responsável por manipular objetos com a abertura e fechamento por meio de um servo motor, movimentando as peças Servo gear, Idol gear que serão fixadas na peça Top plate e Bottom plate, que acoplarão também o conjunto de Pivot arm que movimentarão o Gripper left e Gripper right. Todo esse conjunto será fixado nas peças 4M2 e 4M2C, como é possível observar (Figuras 14, 15 e 16) (Manual BCN3D MOVEO).

Figura 14 – Montagem Pinça



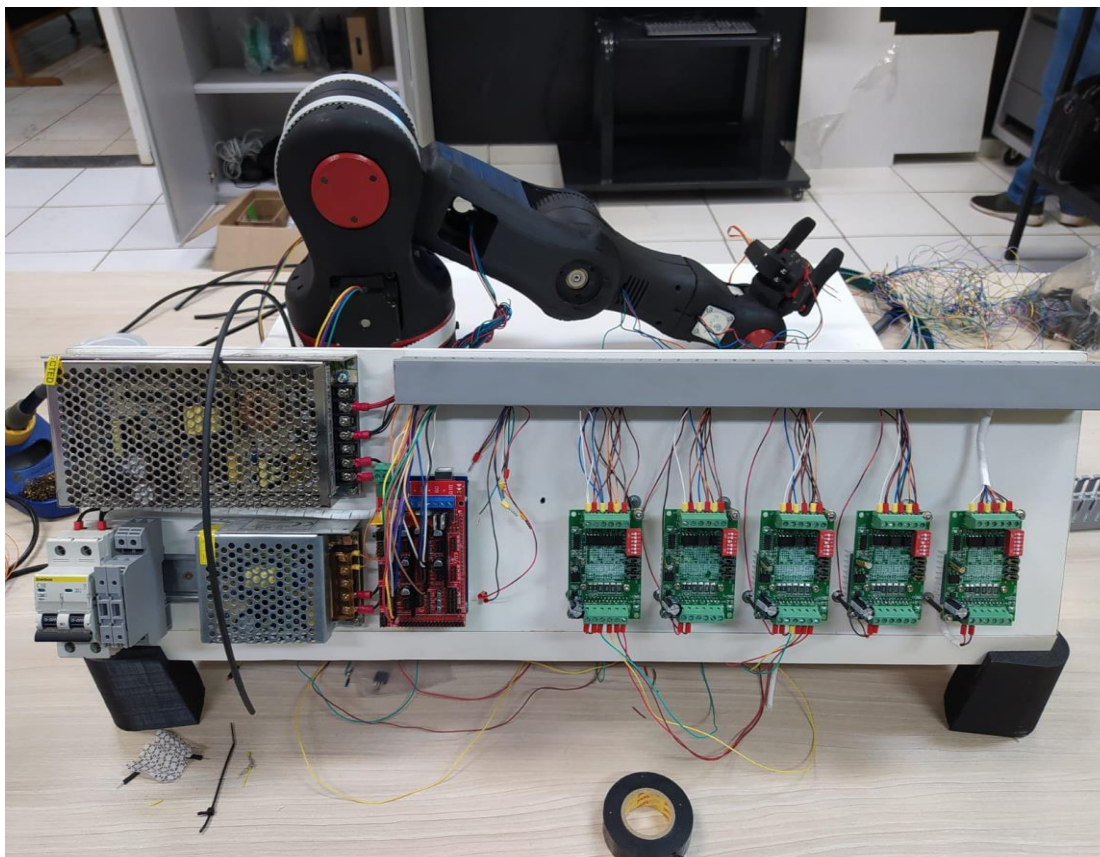
Fonte: Triana (2022).

Figura 15 – Montagem Final Pinça



Fonte: Triana (2022).

Figura 16 - Braço robótico ARM MAKER em andamento



Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso trabalho traz tecnologias atuais que podem melhorar processos, aumentar produtividade, diminuir riscos de lesões por movimentos repetitivos, entre muitos outros benefícios. Por meio de estudos sobre robótica industrial e colaborativa, conseguimos criar um protótipo em que é possível simular movimentos com junções que possuem graus de liberdade.

Através da prototipagem conseguimos perceber a dificuldade de montar um dispositivo de alta complexidade mecânica e eletrônica como um braço robótico, e quão importante é

aprofundar no tema do projeto para se extrair o máximo de conhecimento que facilita na sua execução.

A principal conclusão que extraímos de todo esse processo foi que toda jornada começa com busca de concluir um objetivo e que para alcançá-lo temos que passar por várias etapas que nos moldam e nos tornam capazes de absorver o conhecimento necessário, ter a paciência e resiliência de continuar, mesmo quando as adversidades aparecem, pois por mais difícil e complexo que seja o projeto, com as ferramentas certas, o conhecimento necessário e a motivação, somos capazes de vencer qualquer desafio (Figura 17).

Figura 17 – Envolvidos no desenvolvimento do projeto



Fonte: Elaborado pelos autores.

REFERÊNCIAS

BCN3D. **BCN3D MOVEO**. Disponível em: <https://www.thingiverse.com/thing:1693444>. Acesso em: 02 mai. 2022.

CARRARA, Valdemir. **Apostila de Robótica**. Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Braz Cubas, Mogi das Cruzes, 2006.

KITUSMARK. **BCN3D MOVEO**. Disponível em: <https://github.com/BCN3D/BCN3D-Moveo>. Acesso em: 21 jun. 2022.

SIMPLÍCIO, Paulo Victor Galvão; LIMA, Beatriz Rêgo; JUNKES, Janaína Accordi. Manipuladores robóticos industriais. **Caderno de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 3, n. 3, p. 85-85, 2016.

TRIANA, Ingenio. **Brazo Robot**. Disponível em: http://ingenio-triana.blogspot.com/p/blog-page_20.html. Acesso em: 21 jun. 2022.

APÊNDICE A: Tabelas de peças necessárias

Tabela 1 – Lista de rolamentos necessários

COD.	DESCRIÇÃO	QTD.
15	ROLAMENTO 608 ZZ	10
16	ROLAMENTO 625 ZZ	8
17	ROLAMENTO 624 ZZ	9
18	ROLAMENTO 623 ZZ	3

Fonte: Dos autores.

Tabela 2 – Lista de parafusos necessários

PARAFUSOS		
COD.	DESCRIÇÃO	QTD.
101	Parafuso Allen M3 x 10mm	18
102	Parafuso Allen M3 x 12mm	4
103	Parafuso Allen M3 x 16mm	21
104	Parafuso Allen M3 x 20mm	1
105	Parafuso Allen M3 x 25mm	2
106	Parafuso Allen M3 x 30mm	1

107	Parafuso Allen M3 x 40mm	7
110	Parafuso Allen M4 x 16mm	4
111	Parafuso Allen M4 x 40mm	8
112	Parafuso Allen M4 x 45mm	6
114	Parafuso Allen M5 x 14mm	8
115	Parafuso Allen M5 x 20mm	8
116	Parafuso Sextavado M8 x 65mm	2
117	Parafuso Allen M4 x 20mm	3
117	Parafuso Allen M4 x 25mm	2
124	Parafuso Allen M3 x 8mm	4
125	Parafuso Allen M4 x 30mm	6
126	Parafuso Allen M3 x 35mm	4

Fonte: Dos autores.

Tabela 3 – Lista de porcas necessários.

PORCAS		
COD.	DESCRIÇÃO	QTD.
19	Porca de inserção M4	2
20	Porca de inserção M3	8
20	Porca Inserção de latão M3	2
118	Porca M3	21
119	Porca M4	7
120	Porca autotravante M4	20
121	Porca autotravante M5	16
122	Porca autotravante M8	2

Fonte: Dos autores.

Tabela 4 – Lista de peças diversas necessários.

DIVERSOS		
COD.	DESCRIÇÃO	QTD.
12	Barra lisa 134mm x8 mm	1
13	Barra lisa 114 mm x8mm	1
14	Barra lisa 80mm x8mm	1
23	Barra de haste 42mmx 8mm	1
21	Polia T5 furo de 8mm 14 dentes 17 mm de largura	3
22	Polia T5, Furo de 5mm 10 dentes 17 mm de largura	2
24	Acoplamento 8mm x 5mm	1
30	Espaçador 5mm x 10mm	8
31	Espaçador 8mm x 20mm	1
202	1M1A Placa Rotativa	1
219	cilindros	2
N/A	1M2A Placa rotativa	1
N/A	Modulo T3M	1
N/A	Módulo 4M2	1
1	Motor nema 17 /Stepper Motor SM42HT47-1684 1,8º step, 1,6 A, 60mm	1
9	Motor nema 23/Nema 23, 112mm, Ø8mm flat shaft SM57HT112-3004A, step 1,8º, 3A,28Kg·cm	2
11	Motor nema /Nema 17 34mm SM42HT33-1334, 1,8º step, 1,33A, 2200 g·cm	1
7	Servo motor/SERVO MOTOR 180§ 55G TORQUE=13KG/CM	1
10	Motor nema 14/ Nema 14 36mm -SM35HT36-1004A	1
8	Motor nema 17 R1:5/Stepper nema 17 Ratio 5:1 Planetary Gearbox Nema 17 Stepper 17HS19-1684S-PG5 (step 0,35º, 2Nm, 1,68A)	1
33	Breco belt T5, 16mm width, L 180cm /correia	1,8m

Fonte: Dos autores.

Capítulo IV: Aplicação de Lógica Fuzzy no Controle de Combustão em Caldeiras de Alta Pressão

William Gustavo da Luz¹

Renato Kazuo Miyamoto²

Wesley Candido da Silva³

Fabio Rodrigo Milanez⁴

Carolina Alves Bianchini⁵

Layhon Roberto Rodrigues Dos Santos⁶

RESUMO

Este artigo aborda um estudo de caso, direcionado à análise de viabilidade da implementação da lógica Fuzzy em paralelo com PID, no controle de combustão de duas caldeiras de 67 Kgf/cm² em uma usina de álcool e energia. Os resultados e as técnicas utilizadas para estabilização da pressão e temperatura no processo de geração de vapor serão abordados. Para a implementação, foi utilizado o Fuzzy Designer da Rockwell para realizar a modelagem das principais variáveis de controle da caldeira. Após a modelagem os sinais são aplicados em um controlador Allen Bradley da família Contrologix L63. Um software (Historian – GE) é responsável pelo armazenamento das variáveis em banco de dados temporário, para auxílio nas decisões e ajustes no modelador. Os resultados obtidos ao final da aplicação da lógica Fuzzy foram satisfatórios, com uma melhora na linearidade do processo e na praticidade de operação.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy; caldeiras aquatubulares; PID.

¹ E-mail: william.gluz@gmail.com;

² E-mail: renato.miyamoto@sistemafiep.org.br

³ E-mail: wesley.candido@sistemafiep.org.br

⁴ E-mail: fabio.milanez@sistemafiep.org.br

⁵ E-mail: carolina.bianchini@sistemafiep.org.br

⁶ E-mail: layhon.santos@sistemafiep.org.br

CONTROL OF COMBUSTION IN HIGH PRESSURE BOILERS USING FUZZY LOGIC

ABSTRACT

This paper deals with a case study and was conducted to analyze the feasibility of Fuzzy implementation in parallel with PID in a combustion control of two 67 Kgf / cm² electric power boilers in an alcohol and energy plant. The data and techniques used to stabilize the pressure and temperature in the steam generation process were discussed. For the implementation, Rockwell's Fuzzy Designer was used to perform a modeling of the main control variables of the boiler. After modeling the signals are applied to an Allen Bradley controller of the Contrologix L63 family. A software (Historian - GE) is responsible for storing the variables in a temporary database, to aid in the decisions and adjustments in the modeler. The results were made at the end of the application of the logic They were satisfactory, with an improvement in the linearity of the process and in the practicality of the operation.

Key-words: Fuzzy Logic; aquatubber boilers; PID.

1. INTRODUÇÃO

As caldeiras de alta pressão são um dos principais equipamentos nas indústrias sucroalcooleiras, sendo responsáveis pelo fornecimento de energia térmica para os processos de fabricação de álcool e açúcar, além de acionar as turbinas à vapor (BEGA, 2003).

Em uma caldeira aquatubular ou fogotubular, ambas possuem diversas variáveis de controle, dentre elas estão a pressão da câmara de combustão, temperatura de saída de vapor e controle de temperatura do pré aquecedor de ar. Mas as variáveis mais importantes de uma caldeira são a pressão e nível do tubulão superior.

A pressão do vapor que sai da caldeira, não pode conter variações largas, devido ser utilizado em equipamentos complexo como as turbinas de geradores. O nível do tubulão deve ser mantido com mínimo de oscilação a um nível de 50%, pois

tanto nível alto quanto o baixo são prejudiciais a caldeira, podendo jogar água na linha no caso do altíssimo ou fundir os tubos no caso do baixíssimo. Esse controle é feito por uma *LV* que dosa a quantidade de água no balão (BEGA, 2003).

Os controles PID são amplamente utilizados em caldeiras industriais em situações tais que lógicas matemáticas são complexas e pouco conhecidas dentro da planta. Assim, o controle PID destaca-se por sua simplicidade. Embora esse controle seja bem aceito na automação, em algumas situações no processo ele pode propor um controle instável (OGATA, 2010).

O controle PID aplicado à sistemas de caldeiras possui uma linearidade eficiente no controle, desde que esteja bem sintonizada e com equipamentos de instrumentação devidamente calibrados. O controle de combustão dessas caldeiras é considerado um sistema complexo pois é necessário manter a reação química de combustão linear sem perturbações, ponderando entre combustível e comburente. Assim, há a melhoria da produção de energia térmica, redução dos desgastes dos equipamentos, economia de combustíveis e menos poluição (IANALITICA, 2018).

Dentre os variados controles avançados no mercado existentes estão os, nebulosos, neurais, neurofuzzy e outras técnicas conhecidas baseadas em modelos determinísticos e estocásticos (TECHPLUS, 2017). Segundo Cavalcante (2012), a lógica Fuzzy possui habilidade de tomar decisões e preencher informações vagas, incompletas e imprecisas, pois ela tem habilidade de “raciocinar” próximo a de um humano e sua estrutura é muito simples e natural de fácil manutenção.

Baseada na teoria dos conjuntos Fuzzy, a lógica nebulosa se diferencia dos controles tradicionais em detalhes não abordados pela booleana. Ao contrário do sistema binário 0 e 1, a lógica Fuzzy trabalha com verdade de uma preposição contendo subconjuntos de um conjunto parcial ordenado, podendo assumir valores linguísticos como muito verdade, não verdade, falso e muito falso sendo interpretado como subconjuntos Fuzzy (GOMIDE, GUDWIN, TANSCHHEIT, 2007).

Esse estudo de caso tem como objetivo estabilizar a pressão e temperatura das duas caldeiras, utilizando a modelagem Fuzzy em controladores Allen Bradley. Tal estudo também se fez necessário para conseguirmos economizar bagaço e aumentar a eficiência das turbinas. Será realizado uma comparação através de gráficos históricos, sobre diferença na estabilidade do controle das caldeiras com o PID e a logica Fuzzy.

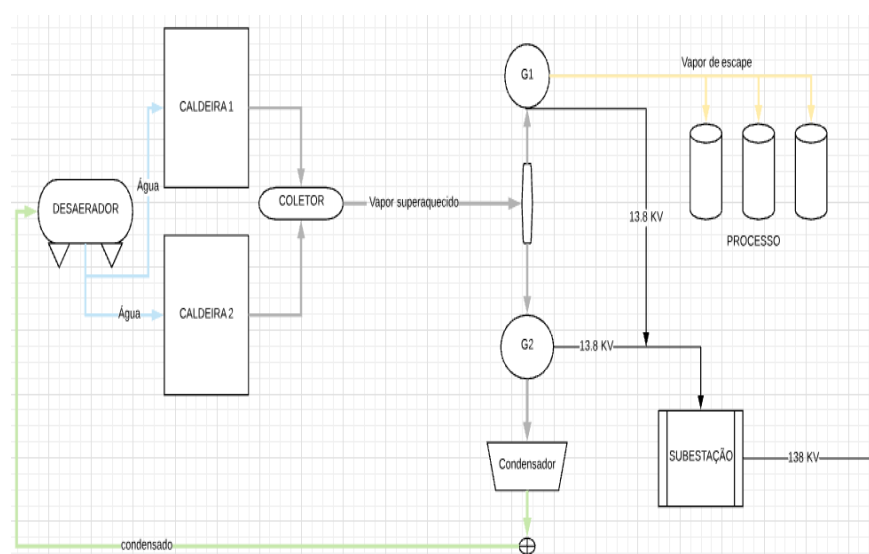
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cogeração de energia.

A cogeração de energia elétrica nas usinas de açúcar e álcool é composta por caldeiras de alta pressão, turbinas, geradores e subestações. Com a queima do bagaço da cana nas fornalhas das caldeiras há o aquecimento da água e geração de vapor à 67kg e 490°C. Com a energia mecânica adquirida pela vazão do vapor na turbina resulta em sua rotação e operação como gerador, transformando energia mecânica em energia elétrica (FURNAS, 2010).

A Figura 1 ilustra o funcionamento de um processo de cogeração nas usinas sucroalcooleiras. Observe que da totalidade do vapor que sai das turbinas, parte é utilizado no processo para a fabricação de álcool e açúcar. A outra parte do vapor é condensado em trocadores de calores e realimentado nas caldeiras. A energia produzida nos geradores é conectada a uma subestação elevatória e enviada aos grandes centros de distribuição (DAMATTO, 2009).

Figura 1: Esquema de cogeração.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

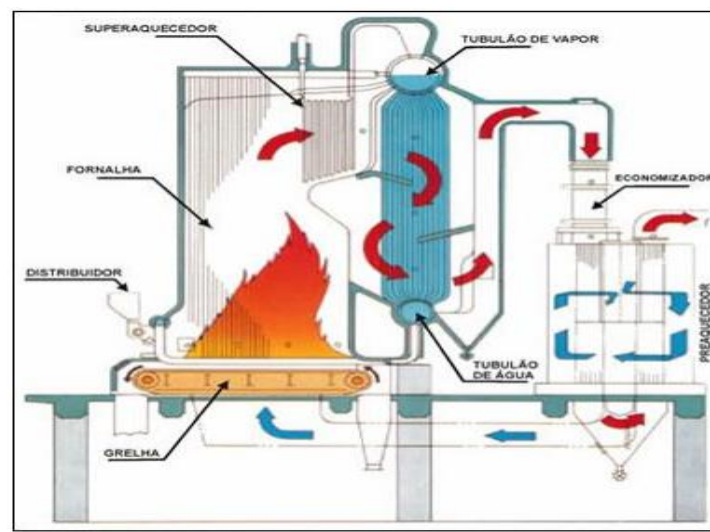
2.2 Caldeiras aquatubulares

As caldeiras aquatubulares são amplamente utilizadas nas indústrias, sua estrutura é composta por tubos por onde a água percorre. Essas caldeiras normalmente possuem dois tubulões de vapor: um superior onde se controla o nível da água em 50%; e o inferior que trabalha totalmente cheio, conhecido como balão de lama por reter impurezas do processo de geração de vapor. Todo o conjunto lado fogo e água são isolados por tijolos refratários, pois a temperatura gerada na fornalha não pode trocar calor com ambiente por motivos de eficiência energética. (BEGA, 2003).

A Figura 2 ilustra o funcionamento de uma caldeira aquatubular em plena carga. O ar atmosférico injetado pelos ventiladores primários circula pelo pré-aquecedor ocorrendo a troca com ar quente que sai da combustão. Assim, o ar entra na fornalha por baixo da grelha já aquecida quando misturado com o combustível ocorre a combustão.

Todo o gás proveniente da queima da biomassa é drenado pelos exaustores. Durante este percurso ele circula pela parede de água passando pelos economizadores e pré-ar, saindo pela chaminé. No trajeto dos gases ocorre a troca térmica com os tubos de água por meio da radiação, produzindo vapor saturado no tubulão superior (BEGA, 2003).

Figura 2: Caldeira aquatubular



Fonte: Martinelli Jr. (2014)

2.2.1 Combustão em caldeiras

A combustão é diretamente proporcional a vazão de combustível e ar, quanto maior a alimentação na fornalha, maior a troca de calor e da geração de vapor (BEGA, 2003). A Figura 3 ilustra um *damper* de entrada de ar primário de uma caldeira. Sua atuação ocorre por meio de cilindro pneumático que tem a função de restringir ou aumentar o volume de ar nas saídas dos ventiladores para fornalha (BEGA, 2003).

Figura 3: Damper ar primário tipo vortex



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Segundo Bazzo (1995), o sistema de alimentação de combustível é controlado pela leitura da pressão do vapor. Esses instrumentos podem ser um pressostato, sensor de pressão e manômetros.

Os alimentadores são equipamentos responsáveis pela dosagem de combustível na fornalha das caldeiras. A dosagem ocorre quando a biomassa armazenada em um silo é transferida para dentro da fornalha. Um inversor de frequência realiza o controle de velocidade de um motor acoplado a um garfo dosador, responsável pela inserção de bagaço dentro da câmara de combustão.

2.2.2 Tiragem

As caldeiras aquatubulares podem operar com três tipos de tiragem: i) tiragem forçada; ii) tiragem induzida e iii) tiragem balanceada. Na tiragem forçada um

ventilador insufla o ar da atmosfera para dentro da fornalha e gera uma leve pressão positiva a ponto de retirar os gases da combustão pela chaminé (BEGA, 2003).

A tiragem induzida utiliza um ventilador centrífugo no pé da chaminé. Assim, sua função é a de drenar os gases de dentro da câmara de combustão e arrastar para atmosfera causando uma pressão negativa na fornalha (BEGA, 2003).

Na tiragem balanceada é utilizada dois ventiladores, um na entrada da fornalha (ventilador de tiragem forçada) e o outro na jusante (ventilador de tiragem induzida). Assim, é gerado uma pressão negativa que é controlada pelo *dampers* do ventilador induzido (BEGA, 2003).

2.2.3 Controle de pressão

A caldeira aquatubular operando em situação normal possui uma determinada vazão e pressão. Em casos de aumento de vazão de vapor, há um acréscimo do volume no sistema vapor – água, resultando em uma redução da pressão e instabilidade no sistema (QUEIROZ, 2017).

Para a redução destes distúrbios, o controle aumenta as vazões de combustível e ar para câmara de combustão, assim aumentando a produção de vapor e estabilizando a pressão. Com aumento da geração de vapor o nível de água tubulão superior irá abaixar entrando em ação o controle de nível da caldeira que completará com mais água no sistema, assim todos os distúrbios desaparecem quando atingir um ponto de equilíbrio, ou seja, a pressão e nível estabilizados de acordo com setpoint.

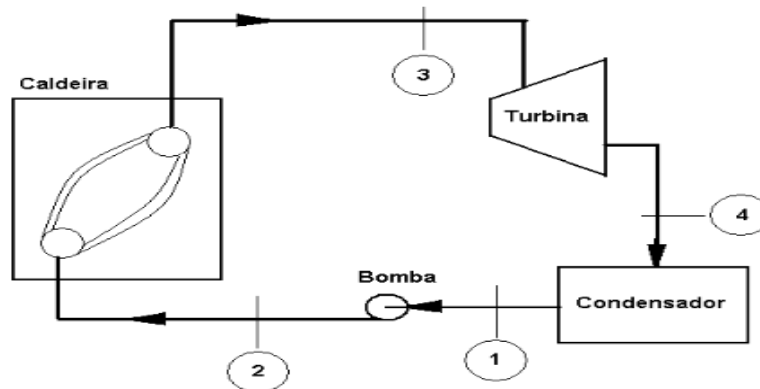
O controle vazão não é realizado pela caldeira, pois ela é somente um fornecedor de energia térmica e obedece a demanda dos consumidores que no caso são as turbinas dos geradores de energia (QUEIROZ, 2017).

2.3 Ciclo de Rankine

O ciclo de Rankine é composto por uma caldeira, turbina a vapor, condensador, aquecedores de água de alimentação e bombas. O rendimento do ciclo depende da condição do vapor gerado pela caldeira para as turbinas. Assim, quanto maior a pressão e temperatura, mais eficiente será o ciclo de Rankine. Para o melhor

desempenho é desejado uma temperatura de 550°C e pressão de 180atm (ELETROBRAS, 2005). A Figura 4 ilustra o ciclo completo de Rankine.

Figura 4: Ciclo de Rankine



Fonte: Panosso, (2003)

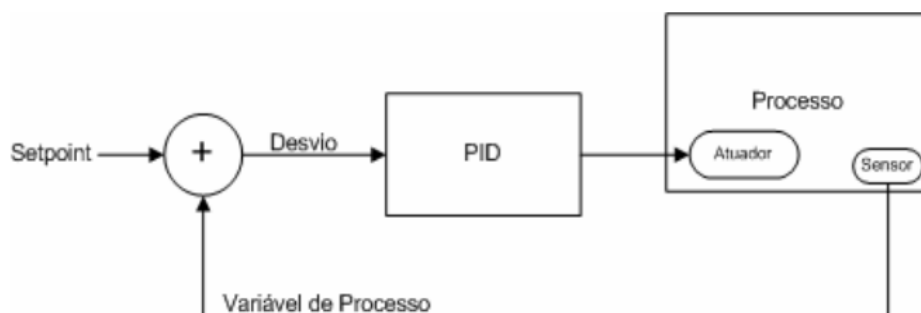
2.4 Controle PID

O controlador PID possui ampla utilização na indústria, sua aplicabilidade está relacionada a capacidade de realizar sintonia automática on-line (OGATA, 2010).

Segundo Novus (2003), a técnica de controle PID calcula o valor que deverá ser atuado no processo a partir do *setpoint* desejado. Este valor é inserido na malha física da planta por meio de sinal em atuadores, válvulas e motores, com a função de manter o ponto de ajuste.

O PID é composto por três ações que são: i) P- proporcional; ii) I- integral e iii) D- derivativo. A Figura 5 ilustra o diagrama de funcionamento de um controle PID com realimentação.

Figura 5: Diagrama funcional de um controle PID



Fonte: GUERRA, (2009)

Segundo Bega (2003) a soma dos controles proporcional (P), integral (I) e derivativo (D) possui grande estabilidade devido ao controle PD e uma ótima eliminação de erro devido ao controle PI, tudo isso em um único controlador. A saída desse controle é representada pela equação (1):

$$m(t) = K \cdot \left\{ e(t) + \left(\frac{I}{Ti} \right) \cdot \int_0^t e(t) dt + Td \cdot de(t)/dt \right\} + F \quad (1)$$

onde:

M = é a saída de controlador;

K = o ganho proporcional

Ti = Tempo integral

F = Constante de integração – Saída em % do controlador antes da ocorrência do erro e (t).

Os controladores PID são capazes de calcular a saída de controle por meio do erro e do valor desejado pelo processo e atuam na diminuição desse erro por ações antecipadas (OLIVEIRA, 2013).

2.5 Lógica Fuzzy

A lógica Fuzzy ou lógica nebulosa tornou-se conhecida em 1965 com a publicação do artigo do professor Lofti Zadeh. A principal diferença entre a lógica Fuzzy e a lógica booleana é a aproximação do mundo real, sendo possível usar o meio termo, e ainda aproximar solução através do grau de verdade (CAMARGOS, 2002).

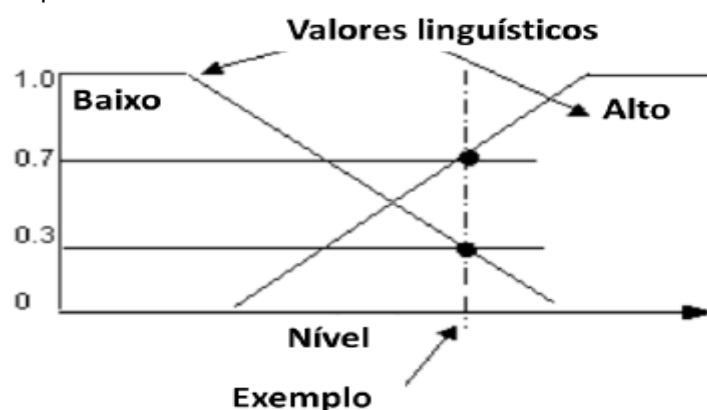
A Lógica Fuzzy é baseada nos Conjuntos Fuzzy e sua funcionalidade está no grau de verdade de “0” a “1”, que pode ser parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa. A Fuzzy também é definida como a lógica que trabalha com raciocínios aproximados a o invés de exatos, podendo tirar conclusões e gerar respostas embasadas nas informações vagas e ambíguas (CAVALCANTI, 2012).

Com a capacidade de raciocinar próxima a um humano a lógica Fuzzy tem seu comportamento simples, natural e de fácil compreensão e manutenção. Seu sucesso também está no poder de coletar informações vagas em linguagens formal e convertê-

las em computacional, onde o computador possa interpretá-las. Um exemplo clássico da inferência Fuzzy na linguagem natural (CAVALCANTI, 2012).

Segundo Cavalcanti (2012), para descrever os graus de pertinência a vários estados ou condições, são usadas funções matemáticas. A cada palavra Fuzzy que descreve o processo, é fornecida um grau de pertinência. Na Figura 6 ilustra duas funções de pertinência sendo baixo e alto, com as variáveis linguísticas podem ter diferentes conjuntos de funções de pertinência e palavras.

Figura 6: Função de pertinência baixo e alto



Fonte: Mello, 2012, p .17

A proposta do controle Fuzzy é gerar ações de controle baseadas no conhecimento especialista utilizando as regras do tipo “condição-ação”. Um exemplo é o reator químico: a principal variável de uma reação química é o controle preciso da temperatura, então o operador tem o conhecimento que se a temperatura subir ele deve abrir a água para resfriar (MELLO, 2018).

O modelo de controle Fuzzy, é dividido em três etapas básicas apresentadas apresentas na Figura 7.

Figura 7: Etapas do processamento Fuzzy



Fonte: Rockwell, (2007).

Na etapa de Fuzzificação os dados de entrada, de imprecisão e de incerteza são transformados em variáveis linguísticas. Após a transformação é determinado as funções de pertinência. (AGUADO e CANTANHEDE, 2010).

Segundo Cox (1994, p. 30, apud AGUADO e CANTANHEDE, 2010, p. 9) após os dados serem transformados em variáveis linguísticas, a próxima etapa consiste na criação de regras ou proposições através da associação das variáveis já criadas. As proposições são geradas entre a relação das variáveis do modelo e a região Fuzzy, assim essas regras geradas pela associação podem ser condicionais ou não.

A defuzzificação traduz a variável linguística para um valor discreto dado pelo resultado de saída da inferência fuzzy. De uma forma simples este processo é uma transformação inversa que converte a saída fuzzy para 0 e 1. Existem alguns métodos de defuzzificação, entre eles destacam-se o centro da área, centro do máximo e a média do máximo.

A técnica mais utilizada é o centro da área, pois ela tem a função de calcular o centroide da área composta do resultado das operações dos conjuntos fuzzy e gerar as saídas. Normalmente são duas saídas: a primeira é gerada pela regra fuzzy e a segunda é uma superfície de associação das variáveis de entrada e saída (CANEPPELE; SERAPHIM, 2013).

2.5.1 Ferramenta de modelagem Fuzzy Rockwell

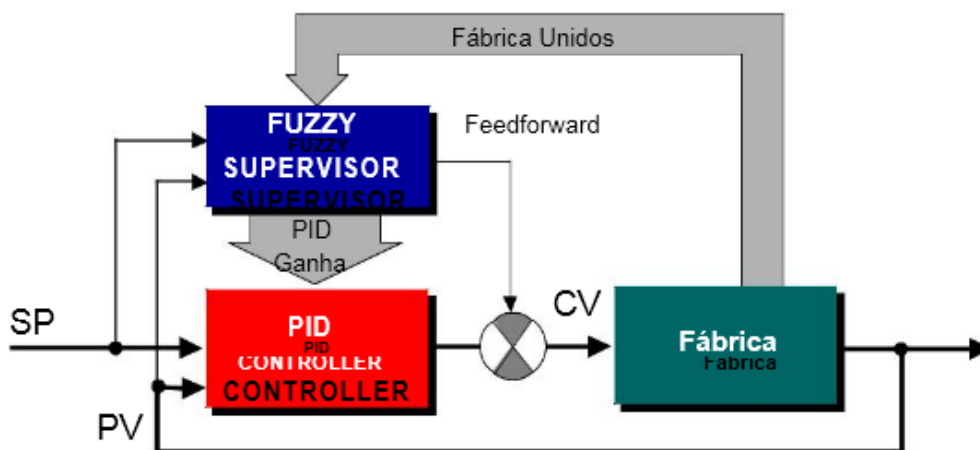
O Fuzzy Designer é um conjunto de softwares criado para projetar um sistema Fuzzy para implementação hierárquica (HFS). A referida ferramenta pode ser utilizada em aplicações como automação industrial, inteligência artificial e em sistemas de monitoração, tomada de decisão e previsão. O sistema Fuzzy Designer pode ser utilizado em controles não-lineares com regras Fuzzy no controlador, troca de dados entre controladores e realimentação PID supervisor (ROCKWELL, 2007).

2.5.5 Controle Não Lineares com regras Fuzzy e PID Supervisor

Segundo ROCKWELL (2007), a supervisão Fuzzy tem como benefício a possibilidade de aplicação ao controle existente, sendo muito usual em controlador PID supervisionado. Neste tipo de controlador os ganhos, feedforward ou ação

setpoints são modificadas por regras dependendo da situação do processo, definidas por parâmetros de referência. A Figura 8 ilustra um controle não-linear, baseado em regras Fuzzy de um controlador PID Supervisor.

Figura 8: Controle não linear baseado em regras Fuzzy com PID supervisor



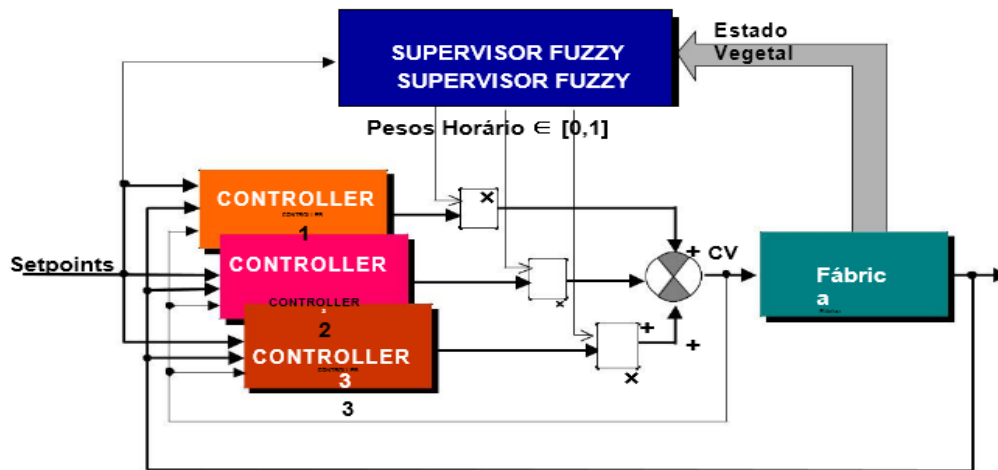
Fonte: Rockwell (2007).

A lógica Fuzzy em conjunto com o PID pode resolver o problema de intervenção humana no controle da produção para estabilizar o processo. Com a supervisão Fuzzy não é necessário a presença de um operador fazendo essas correções, pois a inteligência do processo pode ser passada para o programa através de um especialista no assunto, assim o supervisor nebuloso com toda sua agilidade ele consegue realizar antecipação de erro e suavizar a curva de desvio padrão alterando parâmetros de setpoint, analisando sua saída e corrigindo rapidamente se for o caso. Com essa inteligência o sistema se torna totalmente autônomo e muito ágil (MORAIS, 2017).

2.5.6 Método troca inteligente entre controladores (Takagi-Sugeno)

A comutação entre os controladores locais é realizada por um controlador analítico. Quando as condições mudam o supervisor diminui a influência de um determinado controlador e atribui maior peso a outro que já está programado para trabalhar em novas condições (ROCKWELL, 2007). A Figura 9 ilustra o referido controle.

Figura 9: Troca inteligente entre controladores (Takagi-Sugeno)

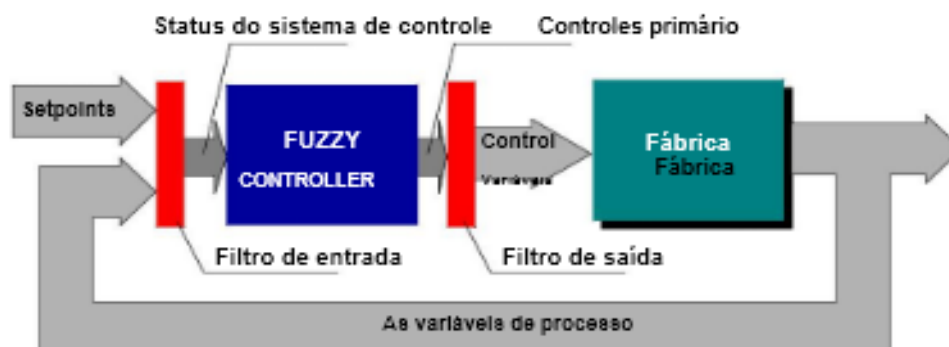


Fonte: Rockwell (2007).

2.5.7 Sistema de controle de realimentação com Controlador Fuzzy

Esse tipo de controle trabalha com várias entradas e saídas e é recomendado para programadores experientes onde as variáveis de controle sejam diretamente ligadas a regras. As regras podem aumentar à medida que o número de entradas também aumenta, e pode ser reduzida pela hierarquização da regra base do controlador (ROCKWELL, 2007). A Figura 10 ilustra o funcionamento do controle por realimentação similar a um PID.

Figura 10: Controle com realimentação



Fonte: Rockwell (2007).

3 METODOLOGIA

Para sanar o problema de oscilações na pressão e temperatura do vapor que sai das caldeiras, foi necessário um acompanhamento de perto na rotina de operações, entrevista com os operadores, análise das principais variáveis via gráfico, além de testes e aferições nos instrumentos de medição de campo.

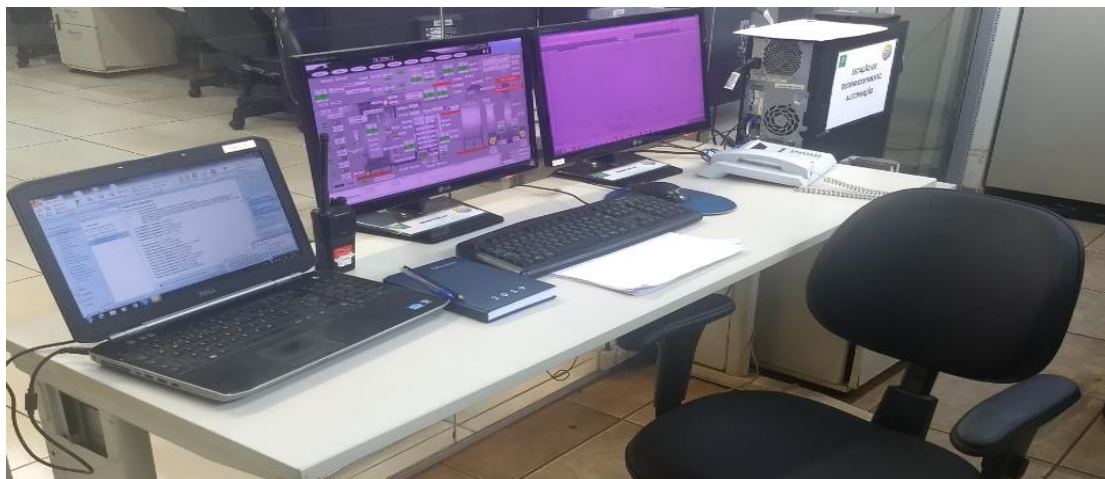
3.1 Dificuldades dos operadores

No setor em questão havia uma dificuldade no controle da temperatura do vapor que oscila entre 15 a 20 °C para mais ou para menos, tendo em vista um setpoint de 500 °C e conseqüentemente havia a oscilação da pressão do vapor. Outra dificuldade está relacionada ao tempo gasto por um operador que realiza o monitoramento da variável. Esse fato impossibilita o operador de realizar suas atividades rotineiras o que pode acarretar em paradas na caldeira, entupimento em esteiras de bagaço e ineficiência na produção.

3.2 Coleta de dados histórico

Após a entrevista com a equipe de operação da caldeira, foram coletados dados de diversas variáveis que compõem o controle de combustão por um período de 3 dias. A aquisição de dados foi realizada diretamente da sala de engenharia e desenvolvimento de automação da Usina, utilizando o software Historian V4.5 da GE fanuc. Esse software é instalado em um servidor virtualizado que é interligado a rede industrial e de supervisão. O mesmo coleta as variáveis a cada 1 segundo e as guardando em um Storage de 2 TeraByte, nos dando um banco de dados com capacidade de mais de 4 anos de armazenamento. A Figura 11 ilustra a sala da engenharia de onde foi realizado os estudos via gráfico e o desenvolvimento da lógica Fuzzy.

Figura 11: Sala da engenharia de automação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Para confirmar as dificuldades relatadas pelos operadores no controle da combustão das caldeiras, foi realizado a coleta de dados referente a pressão, temperatura do vapor e pressão da fornalha além de acompanhar a operação diariamente.

3.3 Início da implementação da lógica Fuzzy

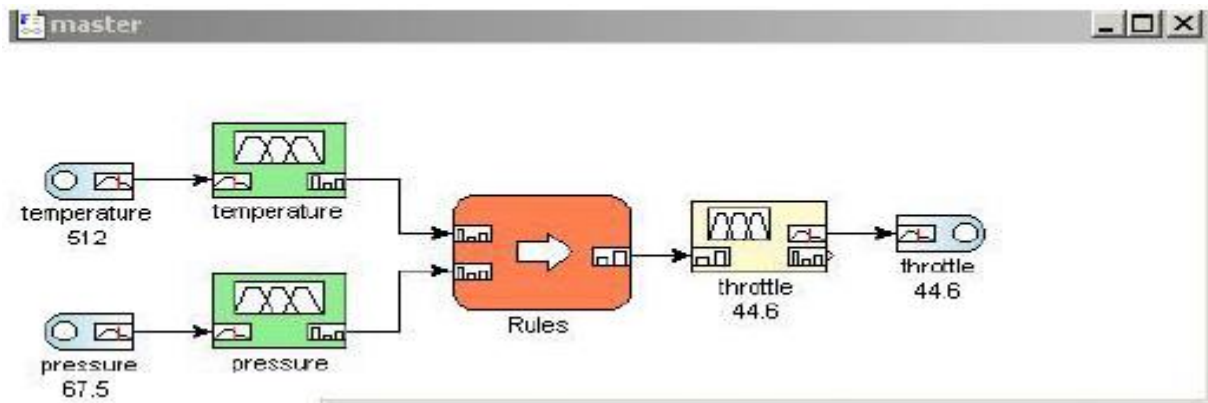
Após as análises de dados da situação dos controles das caldeiras, foi iniciado os estudos na lógica dos controladores. Foi identificado que o controle de combustão estava sendo feito por um bloco PID, utilizando somente a variável de pressão como entrada do bloco, não possuindo nenhuma previsibilidade do processo. Assim, após tentativas de sintonia da malha, a mesma demonstrou resultados oscilatórios. Foi optado pela implementação da lógica Fuzzy com sistema de realimentação em paralelo com o PID, sendo possível trabalhar somente com um controle por vez.

A ideia de operar o controle PID em paralelo com Fuzzy se deu pelo fato da incerteza de como iria se comportar a lógica Fuzzy no controle, pois todos os testes eram feitos com as caldeiras em funcionamento, não sendo possível erros de programação, que poderia acarretar em uma parada geral.

3.3.1 Estrutura de controle *RsLogix 5000 Fuzzy Desingner*.

Com a ideia de desenvolver um controle avançado para combustão das caldeiras, houve a integração de mais variáveis que podem auxiliar na antecipação em uma eventual queda de pressão do vapor. Assim, foi adicionado a temperatura do vapor superaquecido na modelagem, trabalhando com duas variáveis simultaneamente. A Figura 12 ilustra os blocos da nossa estrutura aplicada ao processo utilizando o software da *Rockwell*.

Figura 12: Bloco do Fuzzy Designer aplicado nas caldeiras.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

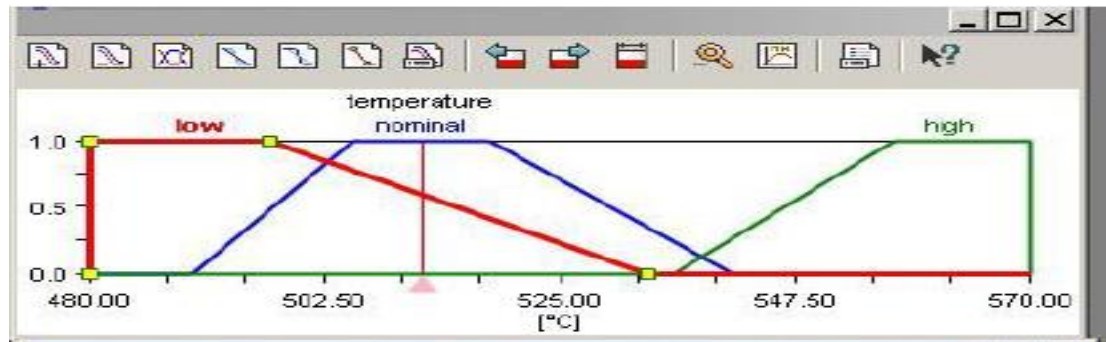
Na estrutura da Figura 12 é possível observar as duas portas de entradas com as variáveis: temperatura e pressão das caldeiras, conectando a um bloco de variáveis linguísticas, onde é feita a fuzzyficação ou tradução. O bloco *rules* é responsável por conter as regras difusas definidas por meios dos gráficos e testes realizados. Nessa parte é a onde é feito a inferência das variáveis linguísticas e comparadas com o grau de pertinência, gerando assim uma saída.

O bloco *throttle* tem a função de fazer a defuzzyficação, ou seja, ele recebe a saída processada com as informações linguísticas, e converter em variáveis lógicas, assim linkando em uma porta de saída que será utilizado dentro da logica de blocos e ladder de cada caldeira. No nosso caso, como as saídas de vapor das caldeiras são interligadas em um coletor comum, ambas utilizam a mesma referência de pressão da *master* e temperaturas independentes de cada uma.

3.3.2 Bloco de Fuzzyficação da temperatura

A Figura 13 demonstra bloco de Fuzzyficação da temperatura do vapor, onde foi definido três termos linguísticos que são: *Low*, *Nominal* e *High*. Nessa sessão foi a onde tivemos maiores dificuldades, pois devido nossa pouca experiência na modelagem Fuzzy, foi necessário muitas tentativas e erros para chegar nesses valores de grau de adesão.

Figura 13: Bloco dos termos linguísticos da temperatura do vapor



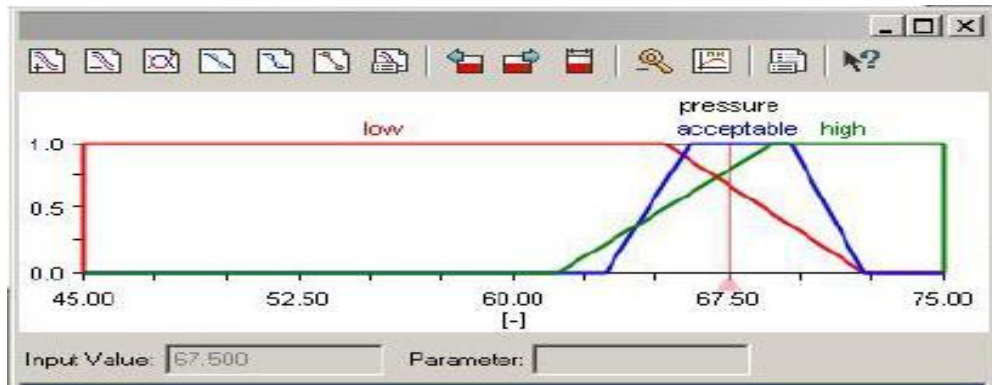
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Para configuração dos termos linguísticos foi utilizado a adesão trapezoidal devido não possuir picos e deixando o controle mais flexível. Note que foi adicionado uma faixa de 480 a 570°C e uma pertinências de 0 a 1, deixando a parte nominal aceitável representada na cor azul de 505 a 515 °C.

3.3.3 Bloco de Fuzzyficação da pressão do vapor

Com mesmo método utilizado na Fuzzyficação da temperatura do vapor, nesse bloco também foi adicionado três linguísticas *Low*, *acceptable* e *high*. Observe na Figura 14 que o ponto aceitável ficou entre 65 e 69 Kg que é o mais seguro para se trabalhar na caldeira no nosso caso.

Figura 14: Bloco dos termos linguísticos da pressão do vapor



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Nessa sessão apresentada sobre os termos linguísticos, observamos que é um dos pontos mais importantes na modelagem, pois o sucesso do controle está na qualidade da Fuzzyficação que será passado ao bloco de regras, assim deixando o controle mais afinado e sem lacunas.

3.3.4 Bloco de regras

Dentro desse bloco foi adicionado as regras para tomada de decisão de acordo com o comportamento observado pelos dados históricos.

Figura 15: Tela do bloco de regras Fuzzy

				IF		THEN	
	Index	Active	Rule DOF	temperature	pressure	throttle	Rw
▶	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0000 <input checked="" type="checkbox"/>	low	low	open	1
	2	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000 <input type="checkbox"/>	low	acceptable	partially_open	1
	3	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000 <input type="checkbox"/>	low	high	nearly_closed	1
	4	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000 <input type="checkbox"/>	nominal	low	nearly_open	1
	5	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000 <input type="checkbox"/>	nominal	acceptable	closed	1
	6	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000 <input type="checkbox"/>	nominal	high	nearly_closed	1
	7	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000 <input type="checkbox"/>	high	low	nearly_closed	1
	8	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000 <input type="checkbox"/>	high	acceptable	nearly_closed	1
	9	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0000 <input type="checkbox"/>	high	high	closed	1
*							

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

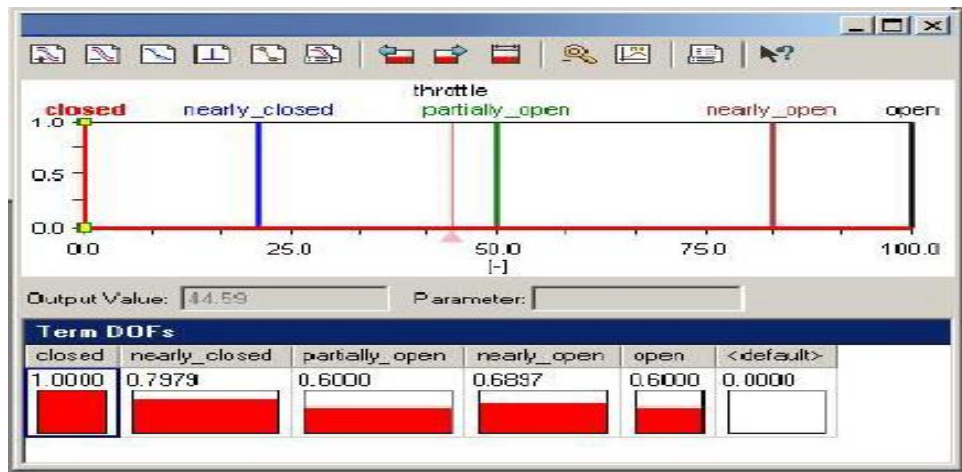
Para conseguirmos uma estabilização observe a Figura 15 mais precisamente na coluna *rule DOF*, que o valor gerado pela média é comparado com a *temperature*

e *pressure*, gerando a saída *Throttle* que será usada posteriormente na variável linguística.

3.3.5 Bloco de linguística de saída

Nessa parte da modelagem é feita a Defuzzyficação onde os valores linguísticos gerados no bloco de regras recebem peso lógico de 0 a 100% para serem usados nas saídas de controle, utilizado o algoritmo de centro da média responsável por calcular a média ponderada de todos valores e imprimir uma saída. A Figura 16 ilustra o bloco de Defuzzyficação com monitoramento online no *Fuzzy Disigner* já com os valores pré-estabelecidos que melhor atendeu o processo de combustão das caldeiras.

Figura 16: Bloco de Defuzzyficação



Fonte : Elaborado pelo Autor (2019).

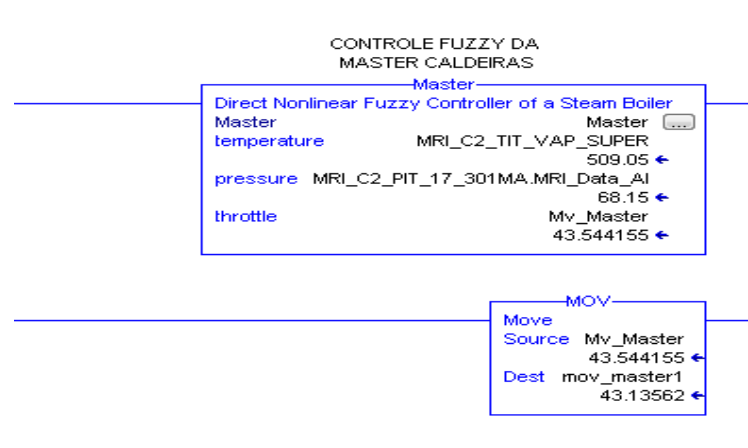
No nosso caso específico esse valor gerado pelo algoritmo em Output Value será usado na lógica de combustão de cada caldeira controlando as MV de alimentação de bagaço e injeção de ar.

3.3.5 Bloco *add-on* de Controle de combustão

Após realizado a modelagem chegou o momento de gerar o bloco *add-on* para ser integrado na lógica *Leader* de cada caldeira. Esse bloco foi alimentado com as variáveis que serão controladas e criado uma tag de saída do tipo *[int]* onde é

armazenado o valor que será utilizado em toda logica. Para evidenciar a implementação a figura 17 ilustra o bloco principal *Fuzzy* com nome *master*.

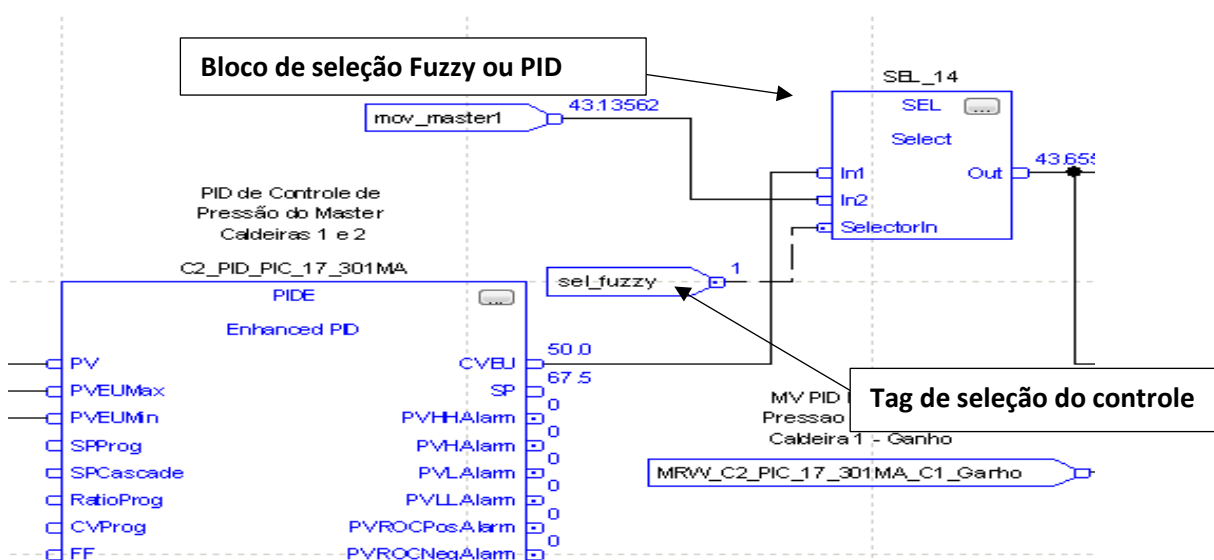
Figura 17: Bloco *Add-on Fuzzy*



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Para a implementar o Fuzzy não foi necessário fazer grandes alterações na lógica do CLP, pois onde antes era utilizada somente a saída calculada do PID, agora tem um bloco de seleção SEL que faz a comutação dos controles via supervisor, podendo trabalhar com qualquer uma delas de acordo com a necessidade. A figura 18 mostra um print tirado da lógica das caldeiras, onde se tem os dois controles com opção de seleção.

Figura 18: Diagrama de bloco da seleção Fuzzy - PID



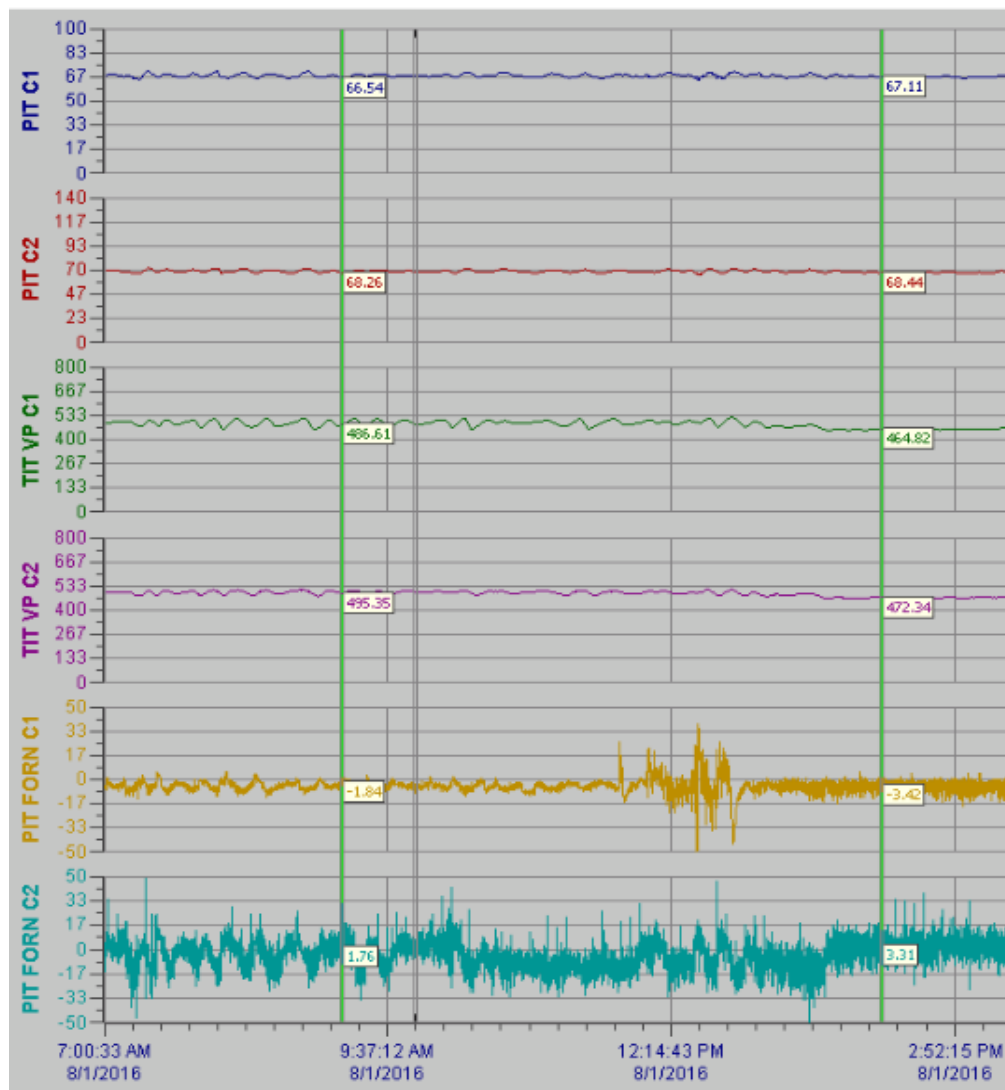
Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O controle Fuzzy adicionado nas caldeiras teve ótimo resultado em termos de estabilidade e previsibilidade em relação ao PID, devido a correta modelagem e seu algoritmo de inferência, foi possível retirar oscilações bruscas do processo de geração de vapor e linearizar a combustão, e ainda dar mais tranquilidade aos operadores que antes tinha muito trabalho para monitorar as caldeiras.

Quando iniciamos o processo de implementação, foi realizado estudos via gráficos para saber do que estávamos lidando, a Figura 19 mostra a situação que encontramos as duas caldeiras antes implementação e a Figura 20 após implementação.

Figura 19: Antes da implementação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

Legenda:

PIT C1: Pressão interna do tubulão de vapor da caldeira 1

PIT C2: Pressão interna do tubulão de vapor da caldeira 2

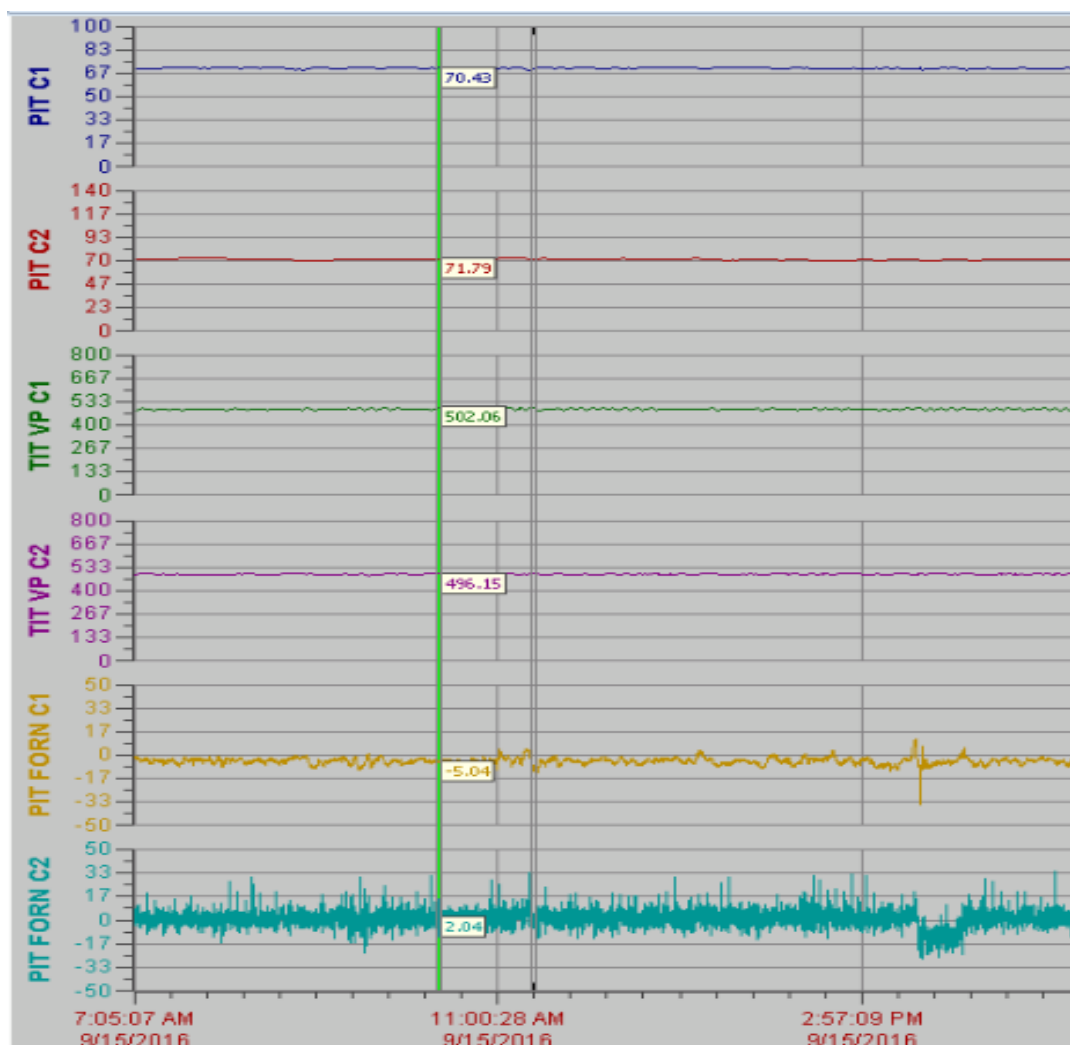
TIT VP C1: Temperatura do vapor que sai da caldeira 1

TIT VP C2: Temperatura do vapor que sai da caldeira 2

PIT FORN C1: Pressão da fornalha caldeira 1

PIT FORN C2: Pressão da fornalha caldeira 2

Figura 20: Após a implementação



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019).

A cada alteração de parâmetros dentro da modelagem Fuzzy, era retirado um gráfico para acompanhar o efeito da mudança, e a Figura 20 mostra o gráfico que nos

deu o melhor resultado de controle, onde foi possível estabilizar a pressão em um nível de 70 a 71 Kg no tubulão, a temperatura entre 500 e 505 °C e uma melhora na pressão da fornalha que passou a ter uma queima regular sem desperdícios.

Em conversa com a operação, foi relatado uma melhoria no controle que está trabalhando totalmente em automático não sendo necessário intervenção, assim sobrando tempo para análises das outras variáveis da geração de vapor que necessitam de uma atenção.

Outro ponto importante, foi a economia de bagaço que pode ter gerado, devido os momentos críticos na operação como bagaço úmido ou falhas nas esteiras, a malha era passado para manual ocorrendo a dosagem de bagaço em demasia sem base alguma, gerando um gasto sem necessidade, e as vezes acontecendo até de cair no esquecimento de voltar para automático o controle agravando mais ainda o desperdício.

4.1 Sucesso da Lógica Fuzzy na combustão.

Como dito anteriormente o controlador PID só trabalhava com a pressão como entrada de informação, agora com o controle avançado em linha, além da pressão ele também utiliza a temperatura do vapor com a seguinte lógica: se a temperatura estiver alta e a pressão normal, o controle diminui a alimentação de biomassa e esfria a temperatura do vapor até estabilizar.

Em uma situação em que a temperatura cair e a pressão estiver normal, ele adiciona bagaço para compensar, pois é inevitável que a pressão caia após um tempo e aumente ainda mais o distúrbio. Essa previsibilidade da Lógica Fuzzy foi o ponto crucial para o sucesso, pois é dessa forma que os operadores agiam para controlar o processo quando era necessário passar para manual, o que nós fizemos foi passar o conhecimento da operação para o CLP.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em busca da maior economia e praticidade nas operações das caldeiras aquatubulares, as usinas de açúcar e álcool estão atrás de novas técnicas de

controles para automação industrial, onde sua implementação e manutenção seja viável no ponto de vista financeiro.

Nesse estudo de caso apresentou a implementação do controle Fuzzy com realimentação, atuando na combustão de duas caldeiras, onde foi possível comprovar através de coleta de dados o melhor controle da pressão e temperatura do vapor, além da redução das turbulências na pressão da fornalha, que podem trazer danos a estruturas metálicas das caldeiras devido efeito sanfona.

Os benefícios alcançados com a melhoria foi a estabilidade no processo e menor erro operacional, além da economia do bagaço que não foi enfatizado no artigo, pois não temos uma balança na saída da esteira para realizar a pesagem e saber exatamente qual está sendo o consumo. Fica claro que com a estabilidade na combustão ocorre uma economia de combustível devido a dosagem exata sem desperdícios, mas sem equipamentos de medição de peso, fica praticamente impossível contabilizar em números esses dados.

Como os resultados alcançados, futuramente será implementado em outras malhas da usina o supervisor Fuzzy com intuito de auditar o controlador PID e alterar parâmetros automaticamente no controle, assim será possível comparar com o modelo implementado nesse trabalho relatar sua eficiência.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, A. S. Sistema de apoio a decisão para futebol baseado em lógica Fuzzy. Disponível em: < <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022054.pdf>.>. Acesso em 10 fev. 2019.

AGUADO, A. G; CANTANHEDE.M.A Lógica Fuzzy. Disponível em: < https://scholar.google.com.br/scholar?hl=ptBR&as_sdt=0%2C5&q=aguado+e+catanhede&btnG=.>. Acesso em 3 jan. 2019

BEGA, E. A. **Instrumentação aplicada ao controle de caldeiras**. 3a. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. p.170.

BAZZO, Edson. **Geração de vapor**. 2. ed. Florianópolis: Daufsc, 1995. 215 p
 CAVALCANTE,J.H.F; Lógica Fuzzy aplicada as engenharias. Disponível em: < http://www.logicafuzzy.com.br/wpcontent/uploads/2013/04/logica_fuzzy_aplicada_as_engenharias.pdf.>. Acesso em 5 jan. 2019

CANEPPELE, F. L.; SERAPHIM, O. J; Análise da eficiência energética em indústrias madeireiras através da lógica Fuzzy. Disponível em: < [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/137388/ISSN1808-8759-2013-28-02-95-102.pdf?sequence=1&isAllowed=.>. Acesso em 5 jan. 2019](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/137388/ISSN1808-8759-2013-28-02-95-102.pdf?sequence=1&isAllowed=.)

CAMARGOS, F.L; Lógica nebulosa: Uma abordagem filosófica e aplicada. Disponível em: < <http://www.inf.ufsc.br/~j.barreto/trabaluno/IANebulosos.pdf>>. Acesso em 12 fev. 2003.

DAMATTO, W. S; A coogeração de energia elétrica a partir da biomassa inserida na matriz energética brasileira. Disponível em: < [https file:///C:/Users/WILLIAM/Downloads/Silva_Wilson_Damatto_da%20\(1\).pdf](https://file:///C:/Users/WILLIAM/Downloads/Silva_Wilson_Damatto_da%20(1).pdf)>. Acesso em 6 jan. 2019

ELETROBRAS. Eficiência energética no uso do vapor. Disponível em: <<https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/LivroVapor.pdf>>. Acesso em 29 jan. 2019.

FURNAS. Usina Termoelétrica convencional. Disponível em: < http://www.furnas.com.br/hotsites/sistemafurnas/usina_term_funciona.asp>. Acesso em 10 jan. 2019.

IANALITICA. Benefícios de um controlador de combustível baseado em O2 para as termoelétricas à biomassa. Disponível em: < <https://ianalitica.com.br/controle-da-combustao-em-fornalhas/>>. Acesso em 8 jan. 2019.

GUERRA, W. A; Implementação de Controle Proporcional, Integral e Derivativo Digital em Controladores Lógico Programáveis Disponível em: <https://http://www2.ee.ufpe.br/instrumentacao/monografias/Wladimir_Guerra_PROMINP_I.pd> Acesso em 05 fev. 2019.>

GOMIDE, F. A. C; GUDWIN, R. R, TANSCHUIT, R; Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos Fuzzy, lógica Fuzzy e aplicações. Disponível em: < <ftp://vm1-dca.fee.unicamp.br/pub/docs/gudwin/publications/ifsa95.pdf>>. Acesso em 17 jan. 2019.

MARTINELLI, L. C. Geradores de vapor. Disponível em: <<http://www.saudeetrabalho.com.br/download/geravapor.pdf><http://www.ibict.com.br>> Acesso em 8 jan. 2019.

NOVUS. Controle PID básico. Disponível em:
<<https://www.novus.com.br/artigosnoticias/arquivos/ArtigoPIDBasicoNovus.pdf>>.
Acesso em 2 fev. 2019.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. p.807.

PANOSSO, G. C; Métodos de simulação para o ciclo de Rankine. Disponível em:
<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2464/000370267.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em 27 jan. 2019.

QUEIROZ, T. L; Implementação de um sistema de automação, controle e supervisão da em uma caldeira Disponível em: <http://www2.dee.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/18/2017/11/TCC_2017_1_TLQueiroz.pdf> Acesso em 25 jan. 2019.

OLIVEIRA, S. F. C; Análise comparativa entre o controlador PID convencional aplicados a estabilização de um quadrimotor Disponível em:
<<https://ppgee.ufersa.edu.br/wpcontent/uploads/sites/61/2014/09/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Sameque-Farias-Cunha-de-Oliveira.pdf>> Acesso em 25 jan. 2019.

ROCKWELL; Rs Logix 5000 Fuzzy Designer. Disponível em:
https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/logix-um004_-en-p.pdf Acesso em 23 fev. 2019.

TECHPLUS, Técnicas de controle avançado. Disponível em:<
<https://www.techplus.com.br/tecnicas-controle-avancado/>> Acesso em 26 fev. 2019

MORAIS E. R; Desenvolvimento de um controlador híbrido FuzzyPID para estabilização de um vant do tipo quadrirrotor na realização de voo autônomo vertical, Disponível em: <
<https://ppgee.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/61/2014/09/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Edpo-Rodrigues-de-Morais.pdf>>.



FACULDADE DA INDÚSTRIA SENAI LONDRINA

APRENDIZAGEM INOVADORA