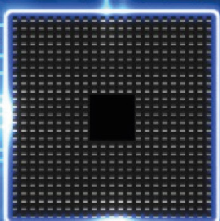


ENSINO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Práticas, Reflexões e Desafios



MAURO VANDERLEI DE AMORIM
(ORGANIZADOR)

MAURO VANDERLEI DE AMORIM
(ORGANIZADOR)

ENSINO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Práticas, Reflexões e Desafios

Editora Ilustração
Santo Ângelo – Brasil
2024



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

Revisão: Os autores

Capa: Renata Souza de Araújo

CATALOGAÇÃO NA FONTE

E57 Ensino de engenharia elétrica [recurso eletrônico] : práticas, reflexões e desafios / organizador: Mauro Vanderlei de Amorim. - Santo Ângelo : Ilustração, 2024.
92 p. : il.

ISBN 978-65-6135-067-9

DOI 10.46550/978-65-6135-067-9

1. Engenharia elétrica - Ensino. I. Amorim, Mauro Vanderlei de (org.).

CDU: 621.3

Responsável pela catalogação: Fernanda Ribeiro Paz - CRB 10/ 1720



Crossref



E-mail: ilustracao@gmail.com

www.editorailustracao.com.br

Conselho Editorial

Dra. Adriana Maria Andreis	UFFS, Chapecó, SC, Brasil
Dra. Adriana Mattar Maamari	UFSCAR, São Carlos, SP, Brasil
Dra. Berenice Beatriz Rossner Wbatuba	URI, Santo Ângelo, RS, Brasil
Dr. Clemente Herrero Fabregat	UAM, Madri, Espanha
Dr. Daniel Vindas Sánchez	UNA, San Jose, Costa Rica
Dra. Denise Tatiane Girardon dos Santos	FEMA, Santa Rosa, RS, Brasil
Dr. Domingos Benedetti Rodrigues	SETREM, Três de Maio, RS, Brasil
Dr. Edeimar Rotta	UFFS, Cerro Largo, RS, Brasil
Dr. Edivaldo José Bortoleto	UNOCHAPECÓ, Chapecó, SC, Brasil
Dra. Elizabeth Fontoura Dorneles	UNICRUZ, Cruz Alta, RS, Brasil
Dr. Evaldo Becker	UFS, São Cristóvão, SE, Brasil
Dr. Glaucio Bezerra Brandão	UFRN, Natal, RN, Brasil
Dr. Gonzalo Salerno	UNCA, Catamarca, Argentina
Dr. Héctor V. Castanheda Midence	USAC, Guatemala
Dr. José Pedro Boufleuer	UNIJUÍ, Ijuí, RS, Brasil
Dra. Keiciane C. Drehmer-Marques	UFMS, Santa Maria, RS, Brasil
Dr. Luiz Augusto Passos	UFMT, Cuiabá, MT, Brasil
Dra. Maria Cristina Leandro Ferreira	UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil
Dra. Neusa Maria John Scheid	URI, Santo Ângelo, RS, Brasil
Dra. Odete Maria de Oliveira	UNOCHAPECÓ, Chapecó, SC, Brasil
Dr. Rosângela Angelin	URI, Santo Ângelo, RS, Brasil
Dr. Roque Ismael da Costa Güllich	UFFS, Cerro Largo, RS, Brasil
Dra. Salete Oro Boff	IMED, Passo Fundo, RS, Brasil
Dr. Tiago Anderson Brutti	UNICRUZ, Cruz Alta, RS, Brasil
Dr. Vantoir Roberto Brancher	IFFAR, Santa Maria, RS, Brasil

Este livro foi avaliado e aprovado por pareceristas *ad hoc*.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	11
--------------------	----

Mauro Vanderlei de Amorim

Capítulo 1 - ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INDÚSTRIA SITUADA NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ – PR: UM ESTUDO DE CASO.....	13
--	----

Daniel Mantovani

Guilherme Dias Vicente

Guilherme Américo Rosa

Jackson Tsukada

Mauro Vanderlei Amorim

Capítulo 2 - CONTROLE PID PARA UM SISTEMA DE TEMPERATURA DESTINADO AO TRANSPORTE DE MEDICAÇÕES E VACINAS.....	27
---	----

João Vitor da Rocha Soares

Guilherme Américo Rosa

Jackson Tsukada

Mauro Vanderlei Amorim

Capítulo 3 - DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS PARA ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL.....	41
--	----

Marcos Jailson Costa Silva

Mauro Vanderlei Amorim

Capítulo 4 - PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM
SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL..... 59

Victor Kauê da Silva

Guilherme Américo Rosa

Jackson Tsukada

Mauro Vanderlei de Amorim

Capítulo 5 - DISPARADOR ELETROMAGNÉTICO DE
PROJETEIS..... 73

Felipe Machado Nolasco

Caroline Barbosa Vieira

Capítulo 6 - SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO 81

Felipe Machado Nolasco

Caroline Barbosa Vieira

APRESENTAÇÃO

Ciente das constantes evoluções nas tecnologias de forma global surge a necessidade urgente de uma integração metodológica entre os tópicos atuais de ensino das engenharias de maneira geral e em particular na engenharia elétrica. A adequação dos temas visando atingir os parâmetros de ensino estabelecidos pelo Ministério da Educação é um constante desafio para todos os docentes. Nesse sentido, esse trabalho visa contribuir com alguns exemplos de estudos de caso e com propostas concretas desenvolvidas por docentes do Instituto Federal de Educação de São Paulo –IFSP- campus Jundiaí, numa parceria com docente da Universidade Estadual de Maringá e da Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional -FEITEP e discentes das referidas instituições. Assim, os temas abordados aqui surgem nesse cenário e entre suas contribuições e possibilidades, permite discussões e reflexões profundas sobre a prática docente. É possível encontrar modelos de atividades experimentais, relatos de experiências e discussões conceituais que é o objetivo principal dos artigos aqui apresentados no campo educacional. Contudo, respeitamos a liberdade dos docentes leitores que entendemos serem os melhores conhecedores do contexto educacional e social em que atuam.

Observamos que o modelo de formação adotado pelas Instituições de Ensino Superior (IES) necessita urgentemente de adaptações aos novos contextos e para essa reflexão convidamos o leitor para uma imersão em modelos de atividades que demonstraram ao longo de sua execução um grande diferencial de motivação aos alunos. Em nossas expectativas incluímos a possibilidade do leitor encontrar valiosos recursos de ensino e aprendizagem seja ele um estudante iniciando sua educação em engenharia elétrica ou um profissional atento às constantes evoluções da área.

Os autores buscaram em cada capítulo apresentar temas que

visam estimular a transformação a reflexão e a participação tanto dos alunos quanto dos professores. Com esse objetivo incentivamos e convidamos aos leitores uma apreciação crítica e profundamente reflexiva acerca de sua atuação docente cotidiana.

Prof. Dr. Mauro Vanderlei de Amorim

ANÁLISE DE VIABILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INDÚSTRIA SITUADA NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ – PR: UM ESTUDO DE CASO

Daniel Mantovani¹

Guilherme Dias Vicente²

Guilherme Américo Rosa³

Jackson Tsukada⁴

Mauro Vanderlei Amorim⁵

1 Introdução

O crescente aumento na demanda global por energia elétrica, aliado à preocupação com os impactos

-
- 1 Docente do curso de Engenharia de Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Graduado em Engenharia de Produção. Doutorado em Engenharia em Produção. E-mail: dmantovani2@uem.br
 - 2 Discente do curso de Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá. E-mail: dmantovani2@uem.br
 - 3 Docente do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário - Unifeitep. Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Unicesumar Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. E-mail: prof.guilhermeamerico@feitep.edu.br
 - 4 Docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Graduado em Engenharia Elétrica. Mestrado em Engenharia Elétrica. Doutorado em Engenharia Elétrica. E-mail: jtsukada2018@gmail.com
 - 5 Docente do EBTB do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP. Graduado em Física. Mestrado em Engenharia Elétrica. Doutorado em Engenharia Elétrica. E-mail: maurinhoamorim@gmail.com

ambientais decorrentes da geração de eletricidade a partir de fontes não-renováveis, tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis e eficientes. O balanço energético de 2022, demonstra como a Matriz Elétrica Brasileira (MEB) está predominantemente ancorada na hidráulica, o que, embora tenha sido fundamental para o suprimento, apresenta riscos devido aos impactos ambientais e à vulnerabilidade a secas.

Para garantir a segurança e sustentabilidade de sistema industrial, é crucial expandir para fontes renováveis diversificadas, e nesse contexto, a energia solar fotovoltaica desponta como uma solução promissora, capaz de fornecer eletricidade limpa e renovável, contribuindo para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e redução da dependência de combustíveis fósseis (NASCIMENTO, 2017).

A indústria moderna desempenha um papel fundamental na economia global, sendo responsável por uma parcela significativa do consumo de energia elétrica. No entanto, segundo Bunse (2011), essa demanda energética muitas vezes resulta em custos operacionais substanciais, o que pode afetar a competitividade e a rentabilidade das empresas. Diante desse cenário, a implantação de sistemas fotovoltaicos em ambientes industriais surge como uma estratégia viável para reduzir os gastos com energia, ao mesmo tempo em que promove a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental das organizações (PARK et al., 2019).

Neste sentido, o presente estudo propõe uma análise detalhada da implementação de um sistema fotovoltaico em uma indústria do segmento de polímeros na cidade de Dourados, no estado do Mato Grosso do Sul, com foco inicial para o setor de extrusão. O estudo de caso visa avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental no dimensionamento relacionado ao consumo de energia provinda de distribuição elétrica passando a incluir a geração de energia solar, visando contribuir para a redução dos custos energéticos.

A metodologia empregada neste estudo incluirá a análise

de dados de consumo energético da indústria no setor de extrusão localizada na cidade de Dourados/MS, o dimensionamento do sistema fotovoltaico necessário para suprir parte da demanda, a avaliação dos investimentos requeridos e dos retornos financeiros esperados ao longo do tempo. Onde, serão considerados aspectos técnicos relevantes, como a integração do sistema fotovoltaico à infraestrutura existente e os impactos ambientais associados à implementação do sistema.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de duas formas, em relação à sua interligação com o sistema público de energia elétrica: sistemas off-grid e sistemas on-grid. Citado como sistema isolado ou autônomo, o off-grid tem como característica o uso de baterias estacionárias para armazenamento de energia elétrica por não ter seu sistema conectado à rede, certificando o funcionamento do sistema mesmo nos momentos quando já não há incidência solar (BOTOLOTO et al., 2017).

Entretanto, o sistema on-grid, citado como como grid tie, dispensa o uso de armazenamento local, pois toda energia excedente produzida pelo sistema é injetada na rede convencional de energia elétrica mais próxima gerando créditos de energia, definidas no Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) pela Lei 14.300/2022, que estabelece o marco legal da geração distribuída.

Segundo o site da Fotaic (2020), do ponto de vista econômico, os sistemas on-grid têm capacidade de recuperação de investimento mais rápido, uma vez que os componentes desse sistema têm um custo relativamente baixo em comparação com os sistemas off-grid. Ainda, eles exigem manutenção de baixo custo, em parte devido ao fato de que, após a instalação, os módulos fotovoltaicos não requerem manutenção, sendo necessário a troca ao final da vida útil do produto (25 anos, em média). É suficiente realizar uma limpeza regular, sendo a periodicidade determinada pelas condições climáticas e pelos níveis de poluição da região.

A integração eficaz de sistemas fotovoltaicos em processos industriais é essencial para maximizar os benefícios e minimizar

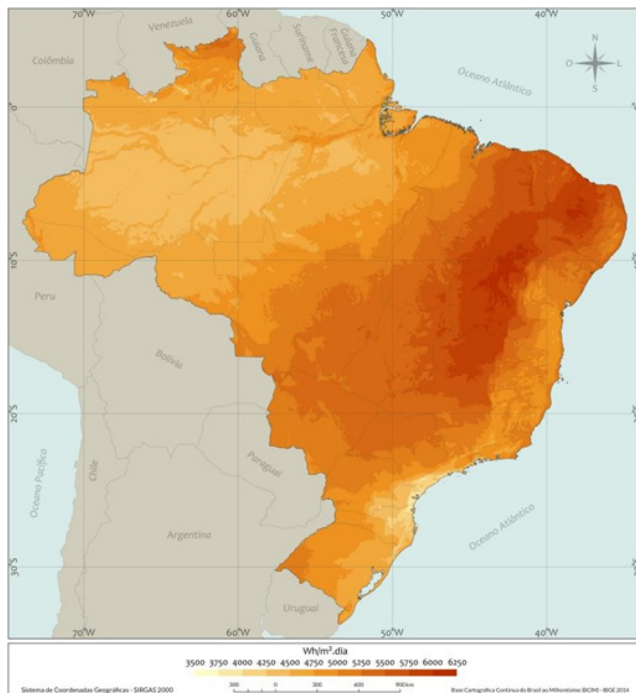
possíveis obstáculos, e um aspecto crítico dessa integração é a localização estratégica dos painéis solares. Como pode ser destacado, a seleção cuidadosa dos locais de instalação é fundamental para otimizar a geração de energia solar, considerando fatores como sombreamento e orientação solar (SOLED ENERGIA, 2022). Essa abordagem não apenas aumenta a eficiência da captação solar, mas também influencia diretamente o desempenho e a viabilidade econômica do projeto.

Essa abordagem demanda uma análise minuciosa dos processos industriais, identificando oportunidades para integrar os sistemas fotovoltaicos de forma sinérgica e aprimorar a operação global.

Vale constar ainda a importância da adoção de sistemas sustentáveis em uma empresa, em relação ao número crescente de consumidores demonstrando preocupação com a postura de uma marca no momento da compra. Assim, o site da Opencadd Advanced Technology (2022) prevê que “ao escolher uma fonte de energia renovável e sustentável, o negócio atrai a atenção de clientes engajados com condutas de preservação e sustentabilidade, público que tem aumentado rapidamente”. Além disso, essa opção não apenas reflete um compromisso ambiental, mas também posiciona a empresa como um negócio inovador e com visão de futuro.

Conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), o potencial da geração de energia elétrica por meio da tecnologia fotovoltaica é notável no Brasil. Mesmo em regiões menos ensolaradas do país, é viável produzir uma quantidade superior de eletricidade solar em comparação com áreas mais ensolaradas na Alemanha, quarta maior produtora de energia solar do mundo. Algo que pode ser observado na Figura 1 abaixo, onde representa a média de irradiação solar global horizontal por dia no território brasileiro. E para interesse de geração de energia fotovoltaica, é a métrica de maior relevância, a qual mensura a quantidade de radiação que incide em uma superfície plana posicionada horizontalmente (TOLMASQUIM, 2016).

Figura 1- Média anual diária de irradiação global horizontal no Brasil.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017).

Para tanto, segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), a quantidade de radiação solar recebida na região geográfica onde um sistema fotovoltaico será instalado é um dos elementos mais críticos para avaliar a viabilidade econômica desse empreendimento. Isso ocorre porque a eficácia energética do sistema está intrinsecamente ligada à disponibilidade de luz solar na localização específica do estabelecimento, sendo um fator essencial na determinação de sua rentabilidade financeira.

A primeira regulamentação brasileira de Geração Distribuída (GD), termo usado à energia elétrica gerada no local de consumo ou próximo a ele, aplicável a várias fontes renováveis como solar, eólica e hídrica, surgiu em 2012, com a Resolução Normativa N°482. Estabelecendo as condições gerais para o

acesso de Micro e Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica, e abordando, no geral, sobre o sistema de créditos compensáveis, tarifas e regulamentação de incentivos (ANEEL, 2012). Essa resolução normativa, então revisada, alterada e aperfeiçoada pela Resolução Normativa N° 687/2015, que redefiniu regulamentos e classificação de microgeração e minigeração de energia elétrica.

A implantação de um projeto, não se restringe apenas a questões socio-ambientais; trata-se também de um investimento financeiro estratégico para as empresas, que buscam também assegurar a lucratividade em sua visão de futuro. Considerar um investimento dessa natureza requer uma análise abrangente, avaliando não apenas os benefícios ambientais, mas também os retornos financeiros potenciais ao longo do tempo.

2 Resultado e discussões

Para calcular o consumo apenas das extrusoras, utilizou das faturas dos gastos de energia dispostas pela ENERGISA, dos meses de julho de 2022 a junho de 2023. Os gastos totais da empresa nesses 12 meses representam em média de 236.060 kWh/mês. É conhecido, a partir de dados internos, que o setor de interesse reflete em média 30% desse custo. Com base nisso, a Tabela 1 a seguir, representa o consumo e custo do setor dos meses analisados.

Tabela 1 - Dados de consumo e de custo de energia do setor de extrusão.

Ano	Mês	Consumo (kWh)	Custo (em R\$)
2022	Julho	69.543	R\$30.406,29
	Agosto	71.289	R\$31.169,69
	Setembro	69.472	R\$30.375,24
	Outubro	72.836	R\$31.846,08
	Novembro	70.133	R\$30.664,25
	Dezembro	71.987	R\$31.474,88

2023	Janeiro	70.654	R\$30.892,05
	Fevereiro	69.821	R\$30.527,84
	Março	72.466	R\$31.684,31
	Abril	70.513	R\$30.830,40
	Mai	71.223	R\$31.140,83
	Junho	69.879	R\$30.553,20
	Total	849.816	R\$371.565,05
	Média	70.818	R\$30.963,75

Fonte: Dados recolhidos da conta de energia (Energisa; adaptado, 2023).

O consumo médio anual de 70.818 kWh é interessante a título de buscar um cálculo do sistema mais preciso. No sistema do INPE, os dados da localização da indústria com que se deseja realizar o estudo está caracterizado pelo número de identificação (ID) 7359, apresentando os seguintes dados de médias do total diário da irradiação global horizontal (em kWh/m².dia):

Tabela 2 - Médias do total diário da irradiação global horizontal (kWh/m².dia).

ID	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
7359	5,97	5,77	5,26	4,53	3,70	3,37	3,50	4,46	4,76	5,33	5,93	6,41	4,92

Fonte: INPE (2017)

É importante destacar que os dados de irradiação solar são diretrizes destinadas a facilitar o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, uma vez que representam valores consolidados provenientes de um histórico de medições sujeito a variações ao longo dos anos. A magnitude da irradiação solar é influenciada pela localidade específica onde se planeja instalar o sistema, enfatizando a necessidade de considerar a variabilidade geográfica para uma avaliação precisa (CRESESB, 2018).

Os dados se mostram viáveis para que haja uma boa geração de energia no local, pois, conforme o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL & CRESESB, 2014), os requisitos

mínimos de irradiação estipulados para um projeto são de 3 a 4 kWh/(m².dia). A empresa na qual foi realizado o orçamento assegura 25 anos de vida útil das placas, fator que deve entrar em consideração. Sabe-se que a degradação anual da placa gira em torno de 0,82% a.a., e que em seu vigésimo quinto ano, a placa deve apresentar uma perda de produção de no máximo 20%.

Levando em conta a necessidade média mensal do setor de extrusão e que a empresa continue com sua demanda energética estável sem variações bruscas, deve-se considerar que em sua degradação máxima, no último ano, o sistema produza próximo de 70.818 kWh. Assim sendo, a necessidade real inicial do projeto é de, aproximadamente, 86.213 kWh $[70.818 \times (1 + 0,0082)^{24}]$.

Considerando que cada painel a ser instalado tenha 530 W de potência e que a irradiação solar média na localidade é de: 4,92 kWh/m², o que eleva a uma perda média de 20%. Neste sentido, a energia gerada por painel seja igual a 2,086 kWh/dia $[530 \times 4,92 \times (1 - 0,20)]$, o que corresponde a um mês, visando a inclusão de uma placa de geração de: 62,58 kWh/mês.

Para melhor entendimento, a Tabela 3 a seguir representa as características técnicas e de demanda do sistema a ser instalado.

Tabela 3 - Características do sistema.

Dimensionamento do sistema	
Potência do painel	530 W
Produção média mensal por placa	62,58 kWh
Demanda	86.213 kWh
Quantidade de placas necessárias para atender a demanda	1378
Potência total do sistema	730,13 kWp

Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

Dessa forma, o projeto se encaixa na regulamentação da ANEEL como um sistema de minigeração distribuída. Apresentando uma potência total maior que 75 kW para ser classificada como micro, e dentro dos parâmetros para ser classificada como minigeração (menor que 5 MW).

A Tabela 4 expõe o orçamento de todos os componentes necessários para implementação de um sistema com 1378 placas, nos conduzindo melhor à análise econômica do projeto.

Tabela 4 - Orçamento do sistema.

Orçamento do sistema	
Gerador	R\$ 2.098.500,04
Instalação e serviço	R\$ 445.699,41
Total	R\$ 2.544.199,45

Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

Portanto, a instalação e serviços diversos elevam os custos de manutenção durante os 25 anos da vida útil analisada do painel solar.

Por falta de dados para trazer relação de aumento das tarifas energéticas dos últimos anos no subgrupo e classe em questão, considerou 5% ao ano de reajuste tarifário de energia. Deste modo, foi possível calcular e trazer todas as informações necessárias para decidir se há viabilidade ou não no projeto. A Tabela 5 representa a análise econômica do estudo em 25 anos.

Tabela 5 – Análise da viabilidade econômica do projeto.

Ano	Energia Produzida (kWh)	Tarifa de Energia (R\$/ kWh)	Receita (R\$)	Fluxo de Caixa Acumulado	Valor Presente Líquido da Receita	Fluxo de Caixa Acumulado Descontado
0			- R\$ 2.544.199,45	- R\$ 2.544.199,45	- R\$ 2.544.199,45	- R\$ 2.544.199,45
1	1.034.560,00	0,437	R\$ 452.340,67	- R\$ 2.091.858,78	R\$ 411.218,79	- R\$ 2.132.980,66
2	1.026.045,67	0,459	R\$ 471.048,80	- R\$ 1.620.809,98	R\$ 389.296,53	- R\$ 1.743.684,13
3	1.017.601,21	0,488	R\$ 496.323,60	- R\$ 1.124.486,38	R\$ 372.895,27	- R\$ 1.370.788,86
4	1.009.226,46	0,518	R\$ 522.954,57	- R\$ 601.531,81	R\$ 357.185,01	- R\$ 1.013.603,86
5	1.000.920,42	0,551	R\$ 551.014,45	- R\$ 50.517,36	R\$ 342.136,62	- R\$ 671.467,23
6	992.682,85	0,585	R\$ 580.579,93	R\$ 530.062,57	R\$ 327.722,23	- R\$ 343.745,00
7	984.513,17	0,621	R\$ 611.731,79	R\$ 1.141.794,36	R\$ 313.915,13	- R\$ 29.829,87
8	976.410,53	0,660	R\$ 644.555,14	R\$ 1.786.349,50	R\$ 300.689,73	R\$ 270.859,86
9	968.374,77	0,701	R\$ 679.139,68	R\$ 2.465.489,18	R\$ 288.021,52	R\$ 558.881,38
10	960.404,94	0,745	R\$ 715.579,90	R\$ 3.181.069,08	R\$ 275.887,03	R\$ 834.768,41
11	952.500,81	0,792	R\$ 753.975,38	R\$ 3.935.044,46	R\$ 264.263,77	R\$ 1.099.032,18
12	944.661,73	0,841	R\$ 794.431,02	R\$ 4.729.475,48	R\$ 253.130,21	R\$ 1.352.162,39
13	936.887,26	0,893	R\$ 837.057,37	R\$ 5.566.532,85	R\$ 242.465,70	R\$ 1.594.628,09
14	929.176,68	0,949	R\$ 881.970,89	R\$ 6.448.503,74	R\$ 232.250,50	R\$ 1.826.878,59

15	921.529,56	1,008	R\$ 929.294,32	R\$ 7.377.798,06	R\$ 222.465,67	R\$ 2.049.344,26
16	913.945,37	1,071	R\$ 979.156,95	R\$ 8.356.955,00	R\$ 213.093,08	R\$ 2.262.437,35
17	906.423,50	1,138	R\$ 1.031.695,03	R\$ 9.388.650,04	R\$ 204.115,36	R\$ 2.466.552,71
18	898.963,64	1,209	R\$ 1.087.052,12	R\$ 10.475.702,16	R\$ 195.515,88	R\$ 2.662.068,59
19	891.565,27	1,285	R\$ 1.145.379,48	R\$ 11.621.081,64	R\$ 187.278,70	R\$ 2.849.347,28
20	884.227,68	1,365	R\$ 1.206.836,47	R\$ 12.827.918,12	R\$ 179.388,55	R\$ 3.028.735,84
21	876.950,49	1,450	R\$ 1.271.591,03	R\$ 14.099.509,15	R\$ 171.830,82	R\$ 3.200.566,66
22	869.733,19	1,540	R\$ 1.339.820,09	R\$ 15.439.329,24	R\$ 164.591,50	R\$ 3.365.158,16
23	862.575,29	1,637	R\$ 1.411.710,08	R\$ 16.851.039,32	R\$ 157.657,18	R\$ 3.522.815,34
24	855.476,29	1,739	R\$ 1.487.457,43	R\$ 18.338.496,74	R\$ 151.015,00	R\$ 3.673.830,35
25	849.635,52	1,847	R\$ 1.569.485,61	R\$ 19.907.982,36	R\$ 144.857,24	R\$ 3.818.687,59

Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

3 Considerações finais

Ao percorrer este estudo abrangente sobre a viabilidade da implementação de um sistema fotovoltaico em uma indústria dedicada aos segmentos polímeros, destacamos não apenas os aspectos econômicos, mas também as considerações cruciais em relação à sustentabilidade e vantagem competitiva.

Além das considerações econômicas, a dimensão sustentável deste projeto assume um papel importante. Ao adotar fontes de energia renovável, a indústria de segmentos polímeros não apenas reduz sua emissão de carbono, mas também fortalece sua posição

como agente transformador na busca por práticas ambientais responsáveis. A vantagem competitiva que esse projeto proporciona transcende o âmbito financeiro, abrindo portas para parcerias estratégicas, atraindo consumidores conscientes e posicionando a empresa como líder no seu setor.

A implementação de um sistema fotovoltaico não é apenas uma escolha responsável, mas uma estratégia de negócios visionária. A sustentabilidade não é mais apenas uma tendência; tornou-se um imperativo para as empresas que buscam longevidade e relevância no cenário global. Este projeto não apenas responde a essa exigência, mas também oferece uma oportunidade única para a indústria se destacar, conquistar novos mercados e moldar um futuro mais sustentável.

Referências

ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST, 2015.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL: **banco de dados solarimétricos**. - Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.: il., tab., mapas.

BORTOLOTO, V. A. et al. **Geração de energia solar on grid e off grid**. In: JORNADA CIENTÍFICA TECNOLÓGICA, 6., 2017, Botucatu. Anais. Botucatu: Fatec, 2017. p. 1 - 6.

BUNSE, K. **Integrating Energy Efficiency Performance in Production Management—Gap Analysis between Industrial Needs and Scientific Literature**. Journal of Cleaner Production, 2011.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA

ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, RJ. 2014.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 24/11/2023.

Energisa - Mato Grosso do Sul. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/pequenas-e-medias-empresas/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>. Acesso em: 02/12/2023.

FOTAIC. **Vantagens do sistema on grid**, 2020. Disponível em: <https://fotaic.com.br/post/vantagens-do-sistema-on-grid>.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Médias do Total Diário da Irradiação Global Horizontal para o Estado de Mato Grosso do Sul**. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas2_tables/MS_glo.html Acesso em: 09/08/2023.

NASCIMENTO, R. L. **Energia Solar no Brasil: Situação e perspectivas**. 2017.

PARK, Cheol-woo *et al.* **Energy Consumption Reduction Technology in Manufacturing** – A Selective Review of Policies, Standards, and Research. International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing. Korea do Sul. 2009.

PEREIRA, E., MARTINS, F., GONÇALVES, A., COSTA, R., LIMA, F., RÜTHER, R., ABREU, S., TIEPOLO, G., PEREIRA, S. E SOUZA, J. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª ed, 2017. São José dos Campos: INPE.

SOLED ENERGIA. **Qual a melhor posição para instalação de energia solar?** Disponível em: <https://www.solledenergia.com.br/qual-a-melhor-posicao-para-instalacao-de-energia-solar/>.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, v. 1, 2016.

CONTROLE PID PARA UM SISTEMA DE TEMPERATURA DESTINADO AO TRANSPORTE DE MEDICAÇÕES E VACINAS

João Vitor da Rocha Soares ¹

Guilherme Américo Rosa²

Jackson Tsukada³

Mauro Vanderlei Amorim⁴

1 Introdução

Diante do cenário atual, o transporte correto e seguro de medicações e vacinas, ganhou grande destaque para a saúde pública. Por meio desse raciocínio, o protótipo a ser elaborado tem como função controlar um sistema de temperatura utilizando-se do conceito PID (Proporcional, Integral e Derivativo), com o propósito de transportar adequadamente esses compostos que dependem do controle preciso da temperatura, ou seja, se

1 Discente do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário - UNIFEITEP. E-mail: americo.rosa@hotmail.com

2 Docente do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário - UNIFEITEP. Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Unicesumar Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. E-mail: prof.guilhermeamerico@feitep.edu.br

3 Docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Graduado em Engenharia Elétrica. Mestrado em Engenharia Elétrica. Doutorado em Engenharia Elétrica. E-mail: jtsukada2018@gmail.com

4 Docente EBTB do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP. Campus- Jundiaí. Graduado em Física. Mestrado em Engenharia Elétrica. Doutorado em Engenharia Elétrica. E-mail: maurinhoamorim@gmail.com

enquadram na cadeia fria.

As etapas de gestão dos medicamentos classificados na cadeia fria são segmentadas em armazenagem, conservação, distribuição e transporte, além das boas práticas para a realização de cada fase.

Uma visão importante voltada a esse entorno se trata da automação industrial como alternativas para controlar um sistema, gerindo suas informações e determinando medidas para a melhoria dos processos. Essa abordagem ainda, relaciona a ideia de automação a um conjunto de procedimentos para execução de movimentos repetidos ou sequenciais, onde é possível obter-se uma informação e, a partir desse dado, realizar as correções necessárias no sistema, mudando sua forma de trabalhar para ajustar-se aos níveis pré-definidos, dessa forma obtém-se o produto final desejado (SILVEIRA; SANTOS, 1998).

Afim de estabelecer ideias acerca dos tipos de pesquisa, torna-se essencial a obtenção e utilização das ferramentas que norteiam esse embasamento. Em um primeiro momento, a definição de método para Marconi e Lakatos (2017) busca esclarecer o conceito a partir de conhecimentos relacionados a sociedade e a natureza, generalizando suas aplicações. O autor ainda segmenta e classifica métodos em quatro abrangentes modelos, sendo eles o método indutivo, método dedutivo, método hipotético-dedutivo e por fim o método dialético.

A condição para qualquer pesquisa de cunho científico, ou não, dispõe sobre a validade na obtenção das informações, de forma a conhecer sua legalidade. Em seguida, como trata-se de trabalhos com caráter acadêmico, estes devem conter uma estrutura bem definida, de certa forma também essa tipologia de trabalho se configura a partir de uma elevação gradual conhecimento no decorrer da pesquisa, partindo de uma ideia geral para um conhecimento mais específico. Ademais, é importante uma revisão do texto, afim de analisar a ausência de informações com grande significado para o tema (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007).

Na explicação do tipo de pesquisa, a definição de estudo

experimental revela o foco do trabalho a partir da apresentação de uma nova forma ou protótipo, criado com a finalidade de resolver ou aprimorar um sistema, por meio de novos modelos e técnicas aplicadas (MARCONI; LAKATOS, 2017).

O presente trabalho é uma alternativa para realizar o transporte de vacinas e medicações, essa proposta conta com a tecnologia PID, destinado ao monitoramento e controle da temperatura do recipiente. É caracterizado pela tipologia de trabalho experimental, pois trata-se de uma proposta com técnicas e tecnologias distintas das empregadas atualmente na elaboração do transporte de insumos farmacêuticos.

Seu principal objetivo, de forma geral, é aprimorar o sistema de transporte, com a finalidade de garantir que os materiais produzidos alcancem seu destino, mantendo sua eficiência e propriedades físicas inalteradas pela temperatura, durante o trajeto das substâncias.

Nesse sentido, os equipamentos escolhidos para compor o protótipo foram analisados afim de obter maior eficiência no sistema de refrigeração e conservar os elementos transportados.

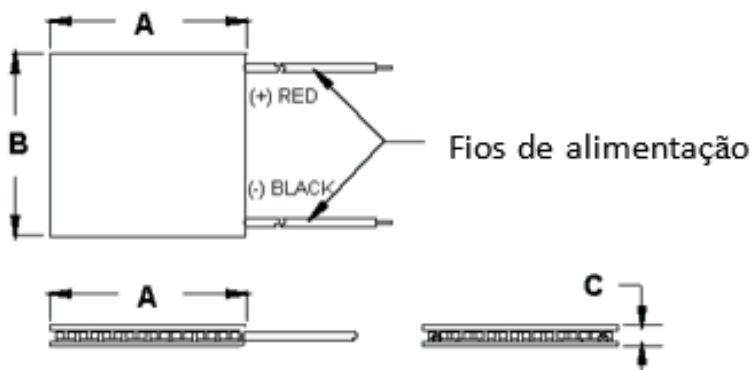
Na construção da caixa de transporte foi utilizado um material isolante de temperatura, o isopor, facilmente encontrado no mercado. As dimensões internas do recipiente são definidas por 16,5cmx25cmx20cm (Largura x Comprimento x Altura), totalizando um volume de aproximadamente 8 litros, as medidas foram determinadas baseadas na altura e comprimento do sistema de refrigeração.

O sistema de resfriamento foi planejado para manter a temperatura para diferentes níveis térmicos. Essa etapa de refrigeração dispôs de 3 grupos de equipamentos distintos que completam-se formando um conjunto eficiente, que foi acoplado estrategicamente sobre a tampa do recipiente, de forma a fazer com que o ar frio, que se encontra na parte de cima da caixa e gerado pelo peltier, troque calor com o ar quente dentro do recipiente, consequentemente resfriando-o.

O primeiro e mais importante equipamento desse sistema é a pastilha Peltier, o atuador do sistema, é este componente que realiza o trabalho de resfriamento por meio de sua face de temperatura inferior, que está voltada para a parte interna da caixa, e consequentemente sua face aquecida foi posicionada de forma a não entrar em contato com o interior do reservatório.

Diante disso, utilizou-se de dois módulos peltier TEC1-12708, sua eficiência total conta com uma potência de 120W, sua alimentação é feita em 12V, com um consumo de corrente máxima de 8.5 amperes (A) para cada pastilha, seu formato e dimensões unitárias estão representadas na Figura 1, onde A= 40mm (comprimento), B= 40mm (largura) e C= 3.5mm (espessura).

Figura 1 – Dimensões do peltier

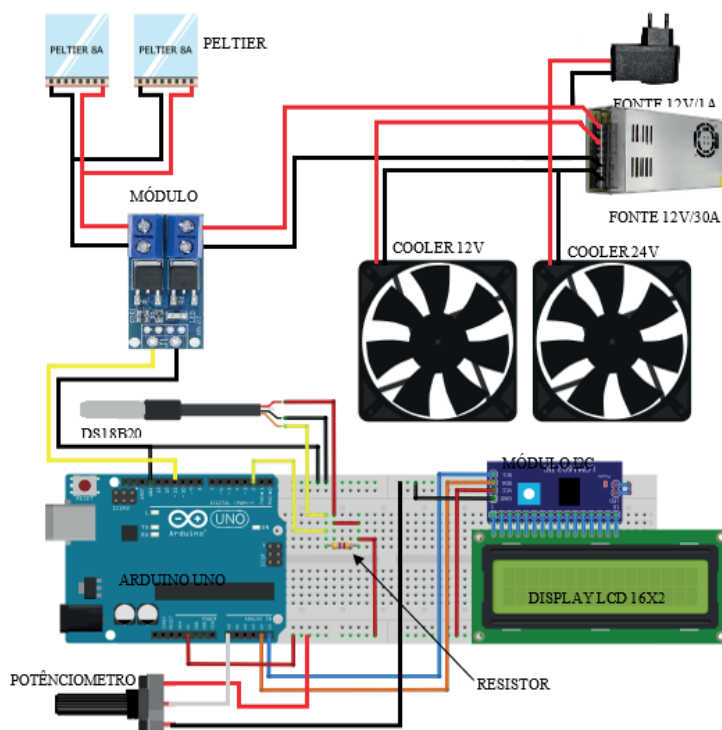


Fonte: Adaptado de Hebei IT (s.d.),

Para ilustrar o sistema elétrico do protótipo como um todo, contendo os dispositivos do sistema de refrigeração, fontes e ainda a parte eletrônica, optou-se por utilizar o *software* fritzing, que auxiliou no momento da criação do diagrama das ligações do projeto. Logo, gerou-se a Figura 2, que possui os elementos por onde circulam a corrente elétrica, com finalidade de refrigeração, aferição e controle, ademais, os dispositivos não se encontram representados em sua escala real.

Para visualizar o valor de referência do sistema em tempo real, a temperatura aferida e consequentemente sua correção com o passar do tempo, empregou-se o uso de um display LCD com módulo I2C, conectado ao arduino. Além disso, o sistema ainda conta com um computador, vinculado ao arduino via USB, para demonstrar um gráfico em tempo real da variação de temperatura no interior do reservatório de transporte por meio da função *plotter serial* da plataforma de projetos em arduino.

Figura 2 – Conexão elétrica do protótipo para transporte de termolábeis



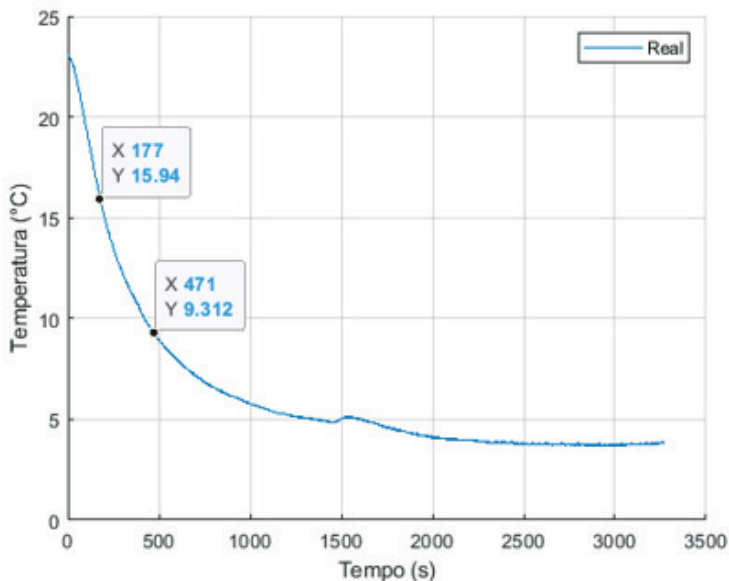
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2 Resultados e discussões

Com a estrutura pronta, ou seja, alcançando a temperatura desejada, foi possível iniciar as etapas de sintonia do controlador PID. Dessa forma, em primeiro momento foi necessário obter a curva de resposta do sistema em malha aberta, ou seja, coletou-se os dados referentes a temperatura de dentro do recipiente em um período de uma hora, com o sistema trabalhando sem qualquer controle.

A curva de resposta do sistema encontra-se na Figura 3, onde estão representados os níveis de amplitude de temperatura em graus Celsius no eixo vertical, e no eixo horizontal o tempo em segundos.

Figura 3 – Curva real de resposta do recipiente de transporte.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

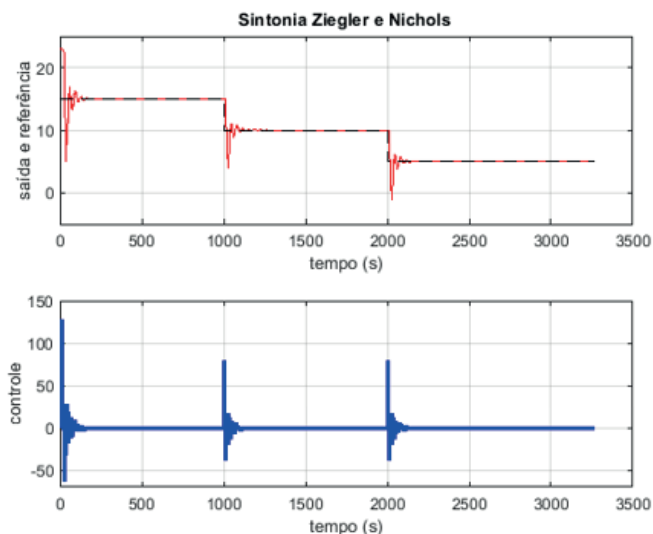
A primeira simulação realizada apoiou-se no método de Ziegler e Nichols de resposta ao degrau como mostrada na Figura

4.

A partir da simulação, observa-se que sistema inicia sua reposta de forma rápida, para a referência de 15°C. No entanto, seu tempo de reposta é igual a 26 segundos, que é mais que o dobro do valor do tempo de resposta do modelo Smith, porém, ainda sim é um valor baixo quando se compara com o tempo em que o sistema leva para entrar em regime permanente, também chamado de tempo de assentamento ou acomodação, ou seja, estabilizar-se no valor de referência.

Na Figura 4, o sistema apresenta um sobressinal de aproximadamente 10°C, em outras palavras, para uma referência de 15°C o processo leva 26 segundos para iniciar sua resposta, após este período há uma queda dos 23°C passando pelo valor de referência no instante de tempo igual a 30, até atingir 5°C aos 39 segundos. Por fim, o sistema tende a buscar a estabilidade passando pelo valor de referência novamente no segundo 51, e entra em regime permanente no tempo igual a 225 segundos.

Figura 4 – Simulação do método Ziegler e Nichols



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

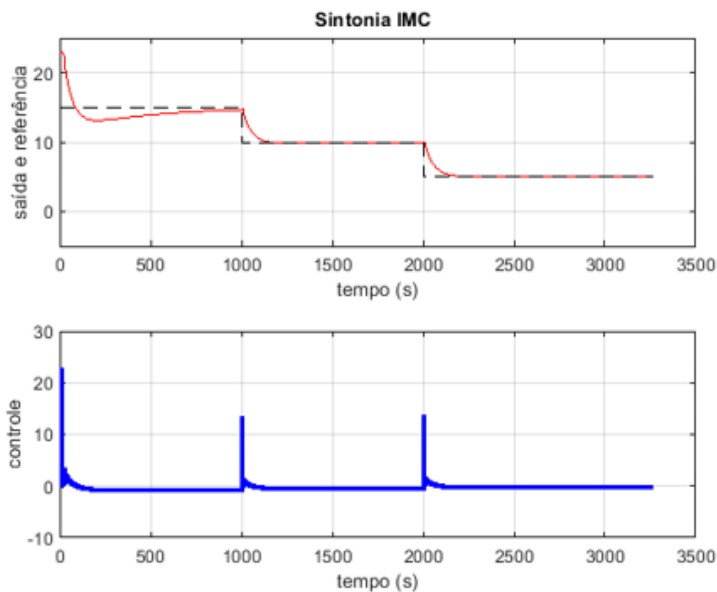
Por outro lado, quando se analisa a saída referente ao *set point* de 10°C e 5°C, observa-se que os níveis térmicos de saída atuam de maneira similar, já que para os dois valores de referência o tempo de resposta é de 13 segundos e o sobressinal é de 6°C. Seu tempo para entrar em regime permanente difere um pouco, para o valor de 10°C o sistema entra em regime permanente em aproximadamente 178 segundos após a mudança no valor de referência, e para o valor de 5°C a saída estabiliza após aproximadamente 156 segundos.

Em relação ao sinal de controle mostrado na Figura 4, pode-se concluir que para a sintonia de Ziegler e Nichols a demanda de controle obteve uma amplitude máxima de 130, em seguida uma queda até -64, para a referência de 15°C. Na sequência, para os outros valores de referência como 10°C e posteriormente 5°C, o sinal de controle trabalhou de forma semelhante exigindo um controle com pico de 80, além de um valor mínimo de -39 para ambas as referências.

Uma segunda simulação realizada utilizou-se no método interno (*Internal Model Control* – IMC) para realizar a sintonia, com isso, foi possível encontrar os parâmetros do controlador. O controle realizado e sua saída estão representados na Figura 5.

Com base na Figura 5, a segunda simulação revela, visualmente, menos variações nos índices de saída quando comparada com a simulação anterior, além de apresentar um tempo de resposta inicial de aproximadamente 13 segundos, ou seja, a metade do tempo resposta gerado pelo método de Ziegler e Nichols.

Figura 5 – Simulação do método IMC



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em relação ao primeiro valor de referência igual a 15°C , a Figura 5 apresenta um valor de sobressinal de aproximadamente 2°C apenas, de outra forma, quando tem-se um valor de temperatura inicial de 23°C e é estabelecido sobre o processo um valor de referência igual a 15°C , o sistema demora 13 segundos para iniciar seu movimento de reposta, em seguida decai em sua amplitude térmica passando pelo valor de referência no segundo 87 até alcançar a temperatura de $13,13^{\circ}\text{C}$, no instante de tempo igual a 200 segundos.

Logo, após esta primeira oscilação o sistema procura estabilizar-se no valor de referência, porém pode-se observar pela Figura 5 que o sistema trabalha de forma gradual para alcançar o valor de 15°C no período de tempo de 0 a 1000 segundos. O sistema não entra em regime permanente para a primeira referência, devido ao período de amostragem e sua tipologia de trabalho, mas se o tempo de amostragem possuir um valor maior, o sistema entraria

em estabilidade nos 15°C.

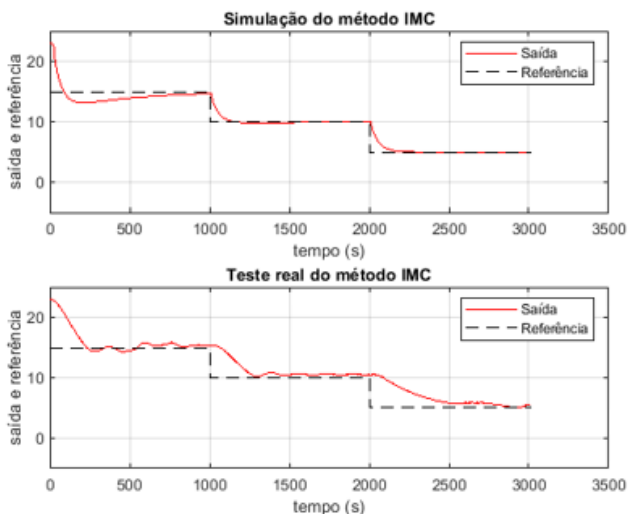
Em contrapartida, para as seguintes faixas de temperatura, o sistema apresenta uma saída com aspectos mais lineares e como característica de seu funcionamento o sistema alcança a amplitude desejada de forma progressiva, e por consequência traz um resultado com sobressinal menor que 0,2°C.

Nesse sentido, quando se analisa a mudança do valor de referência de 15°C para 10°C, no instante 1000s, com amplitude de saída de 14,65°C, o sistema demora os mesmos 13 segundos para iniciar sua queda na temperatura, chegando ao valor de referência quando o tempo é igual a 1150 segundos e estabilizando-se.

Considerando o último valor de amplitude requerido, que se inicia no tempo igual a 2000 segundos, o sistema gasta o mesmo tempo que precisou para as amplitudes térmicas anteriores, ou seja, 13 segundos. No que diz respeito ao tempo em que a saída entra em regime permanente, para essa configuração de *set point*, o tempo corresponde a aproximadamente 199 segundos.

Em relação ao sinal de controle, o método IMC apresenta amplitudes relativamente menores que o método de Ziegler e Nichols, solicitando um esforço menor do controlador, fazendo com que ele trabalhe da maneira mais eficiente. Nesse contexto, quando se observa a primeira mudança no valor de referência, o nível de controle é 23, e para os seguintes valores desejados o sistema se manteve entre 13,75 e 14 para o sinal de controle.

Figura 6 – Simulação e Resposta real para o método IMC.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A Figura 6 demonstra novamente a segunda simulação referente ao método IMC, além de representar o sinal de resposta do protótipo, sintonizado pela técnica IMC, aos valores de referência empregados pelo controle. Em um primeiro momento, é possível analisar de forma visual a diferença entre a simulação e o teste real realizado.

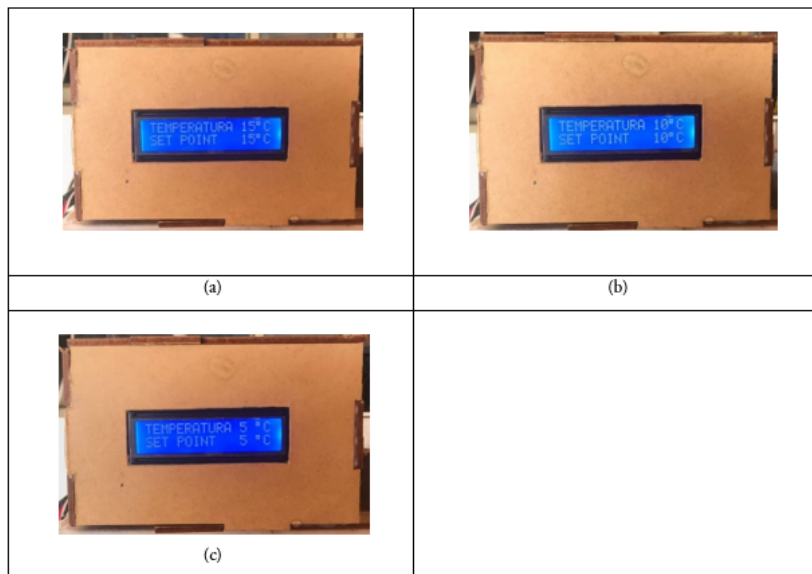
Entre as características da resposta, observa-se a fidelidade da saída em relação ao sobressinal mínimo, por outro lado, é visível que o teste real do protótipo apresenta um tempo maior para estabilizar-se em relação a saída simulada, como demonstrado na simulação.

A Figura 7 demonstra por meio do display LCD vinculado ao arduino, a temperatura e o *set point* registrado no momento em que o sistema chega à estabilidade para cada uma das amplitudes térmicas estabelecidas. Considerando o início da resposta para a referência de 15°C durante os primeiros 1000 segundos, o sistema apresenta um tempo de resposta de apenas 24 segundos, após esse

período a saída sofre uma queda, como ação do sistema tentando chegar ao valor pré-definido.

O sistema entra na casa dos 15°C aproximadamente aos 200 segundos, e posteriormente a saída do protótipo passa pela referência de exatos 15°C no tempo igual a 230 segundos.

Figura 7 – Aferição de temperatura para os valores de referência



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em seguida, levando em conta o primeiro valor determinado, a resposta apresenta um sobressinal máximo de aproximadamente 0,7°C, sendo menor do que o modelo ideal simulado. Após esta etapa o sistema busca o valor de referência novamente, obtendo seu valor no segundo 347, a partir desse ponto o sistema apresenta mais uma oscilação com um sobressinal parecido com o anterior de 0,7°C, e como característica do controle o sistema tende a entrar em regime permanente, estabilizando-se após os 750 segundos de operação, como visualizado no display LCD por meio da Figura 7(a).

Para a segunda mudança no valor desejado, que se mantém definida entre o período de 1000 a 2000 segundos, o protótipo tem um tempo de resposta de 28 segundos, chegando à casa dos 10°C no instante de tempo igual a 1237 segundos, ou seja, 237 segundos após o estabelecimento da referência de 10°C.

Com a referência de 10°C, o sistema apresenta uma resposta sem sobressinal, e chega à referência no instante de tempo é igual a 1306 segundos, como visualizado no display LCD por meio da Figura 7(b). Após este período a temperatura se estabiliza e mantém-se na casa dos 10°C, variando cerca de 0,6°C para mais, até que seja imposto pelo controle um novo valor de *set point*.

Para o último valor de desejado, que se inicia no segundo 2000, o sistema começa a decair depois de 57 segundos, sendo esse tempo de reposta maior em relação às outras variações do valor de referência. Na sequência, a resposta do sistema realiza a manobra em sentido ao último valor de referência de 5°C, obtendo 5,9°C com o tempo de 2468 segundos, em seguida o sistema, por conta de sua característica não agressiva, aproxima-se gradativamente dos 5°C, alcançando o valor quando o tempo é superior aos 800 segundos de trabalho para aquela referência determinada, como visualizado no display LCD por meio da Figura 7(c).

3 Considerações finais

Quando se trata de medicações e vacinas, é indispensável manter a qualidade das substancias, o ponto chave da pesquisa atua diretamente na garantia de um produto final de qualidade entregue, ou seja, age na temperatura do processo de transporte com a finalidade de manter as propriedades das substancias termosensíveis inalteradas, conservando sua eficácia e preservando sua integridade.

Com base nisso, o presente estudo propôs a elaboração de um recipiente de transporte de vacinas e medicações com o intuito de controlar a temperatura, utilizando pastilhas peltier

para o resfriamento, além de basear-se na tecnologia de controle PID (Proporcional Integral e Derivativo). O controle térmico no interior do recipiente visa estabelecer uma temperatura ideal para as substâncias termolábeis de forma constante, para que os produtos sensíveis à temperatura se mantenham com suas propriedades conservadas, e não permaneçam expostas a ambientes com variações nos níveis térmicos.

O controlador PID empregado no recipiente refrigerado foi capaz de manter a temperatura estável para diferentes níveis térmicos requeridos, não apresentando variações bruscas em sua saída.

Referências

Cervo, A. L., Bervian, P. A., Silva, R., **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

Hebei, I.T. (China). Thermoelectric Cooler. Shanghai. Disponível em: <http://www.hebeiltd.com.cn/peltier.datasheet/TEC1-12708.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2022.

Marconi, M. A., Lakatos, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

Silveira, P. R., Santos, W. E., **Automação e Controle Discreto**. 9. ed. São Paulo: Érica, 1998.

DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA O ENSINO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS PARA ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

Marcos Jailson Costa Silva¹

Mauro Vanderlei Amorim²

1 Introdução

Aprendizagem de ciências da natureza e matemática por alunos com deficiência visual enfrenta desafios significativos devido aos modelos explicativos voltados para os alunos videntes, o que frequentemente exclui esses estudantes de um aproveitamento adequado das aulas.

Mesmo com os avanços nas políticas públicas de inclusão e nas tecnologias assistivas, ainda há muitos conteúdos de difícil abordagem devido às barreiras na adaptação de materiais. Além disso, a alfabetização em Braille não é universal entre os deficientes visuais, sendo necessário explorar recursos sensoriais como o áudio e o tato.

Desenvolver recursos e metodologias inclusivas para estudantes com deficiência visual é essencial para a educação, pois permite superar as barreiras físicas e deve estar alinhado com

1 Pós-graduando em Tecnologias na Educação pelo IFSP. E-mail: profissional.mcosta@outlook.com

2 Docente EBTT do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP. Campus Jundiaí. Graduado em Física. Mestrado em Engenharia Elétrica. Doutorado em Engenharia Elétrica. E-mail: mauro.amorim@ifsp.edu.br

a prática docente e as diretrizes legais de inclusão. A adaptação de materiais é prerrogativa da prática docente, tendo em vista a importância de alcançar a todos os alunos na sala de aula.

A Lei nº 13.146/2015, conhecida como Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, reforça a importância de adaptar os métodos de ensino para garantir a inclusão plena de estudantes com deficiência visual. A legislação estabelece que a educação é um direito fundamental e deve ser assegurada sem discriminação e em igualdade de condições com os demais estudantes.

Portanto, é crucial que as instituições educacionais invistam em recursos e capacitação dos professores para atender às necessidades específicas desses alunos. Este artigo visa contribuir na área de recursos educacionais acessíveis e de baixo custo, documentando a criação de dispositivos de aprendizagem de circuitos elétricos em série, paralelos e mistos.

2 Referencial teórico

2.1 Ensino de Física sob a perspectiva inclusiva

O desenvolvimento de recursos pedagógicos que ampliem as possibilidades de aprendizagem dos estudantes com deficiência visual e outras especificidades são de extrema urgência no que diz respeito à democratização do acesso ao conhecimento e à garantia do direito à educação, conforme disposto na Constituição da República Federativa do Brasil (1988 Capítulo III, Seção I, Art. 205).

As práticas no ensino de Física e Ciências da Natureza possuem enorme potencial de promoção da aprendizagem e, mais do que isso, são capazes de estimular a cidadania e o protagonismo do jovem para a transformação da sociedade.

No que tange a isso, o aprendizado de ciências é também fundamental para que o jovem entenda o seu papel neste processo (COTTA, 2021). Qualquer referência à capacitação dos jovens

para o exercício da cidadania é necessariamente uma correferência à alfabetização científica. A esse respeito, o autor TEIXEIRA (2013) contribui com a perspectiva de que a alfabetização científica compreende, de forma imprescindível, o vínculo entre ciência, leitura e escrita, e, em certo viés metafórico, apresenta o termo como ferramenta cultural fundamental.

O mesmo autor (2013) enfatiza que o termo denota a compreensão, elaboração de significados, análise e crítica. Ora, sabemos que os indivíduos constroem significados a partir daquilo que experimentam como destaca Freire: “Quando o homem compreende a sua realidade, pode levantar hipóteses sobre o desafio dessa realidade e procurar soluções. Assim, pode transformá-la e o seu trabalho pode criar um mundo próprio, seu Eu e as suas circunstâncias” (FREIRE, 1979, p. 16; redistribuição 2013, p. 25).

Desta forma, privar os estudantes com deficiência visual do aprendizado de Física por conta da dificuldade de adaptação de materiais para o ensino especializado é, sobretudo, inaceitável. Como destaca a autora Silva e colaboradores (2023), em concordância com Costa (2007), há a necessidade de recursos adaptados para atender às necessidades individuais dos alunos, aliada a uma metodologia adequada que potencialize a aprendizagem.

Os desafios nesse sentido não contemplam apenas a adaptação de recursos que possam ser utilizados, mas também a elaboração de metodologias que visem a abordagem do conteúdo de acordo com as necessidades educacionais de cada estudante. A respeito dos desafios da inclusão no ensino de ciências, Eliza e Eder (2009) destaca o papel do professor especialista em deficiência visual na orientação tanto dos alunos com necessidades educacionais especiais quanto dos professores para a correta abordagem e personalização do currículo.

No âmbito da educação inclusiva e do ensino de Física para alunos com necessidades educacionais especiais, o professor Livre Docente Eder Pires de Camargo (2024) traz diversas contribuições relevantes em seu trabalho denominado Saberes Docentes Y

Educación Inclusiva En La Confección de Recursos Didáticos de Ciencias, defendendo a didática multissensorial como ponto chave para a concretização da inclusão, tendo em vista que alunos com deficiências sensoriais se relacionam de maneira diferente com o saber escolar, no que diz respeito à forma como a comunicação destes saberes ocorre e ao uso de outros sentidos.

Silva e Camargo (2018) também trazem recomendações importantes a partir da investigação do processo de ensino e aprendizagem de uma aluna cega, partindo de observações e entrevistas semiestruturadas, indicando a ausência de parcerias entre os professores de Física e os da sala de recursos e o deslocamento da aprendizagem dos conteúdos de Física para a sala de recursos como algumas das fragilidades no processo de aprendizagem.

Em concordância com esses dados, o trabalho da autora Lippe, anterior a essa publicação, em coautoria com Camargo (2009), discute os desafios para o ensino de Ciências sob a perspectiva da inclusão e aponta a necessidade da ação conjunta dos professores do ensino especializado e do professor de sala de aula na promoção de estratégias pedagógicas que promovam a participação dos alunos com necessidades educacionais especiais e os demais alunos.

2.2 Circuitos elétricos como componente curricular

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) trata de forma ampla os conteúdos de física. Embora não seja citado diretamente na maioria das habilidades, o estudo de circuitos elétricos é essencial para que algumas das habilidades descritas pelo documento sejam contempladas. Embora apareça poucas vezes como componente curricular, como por exemplo na habilidade EF08CI02, o tema circuitos elétricos existe em outras habilidades como suporte ao desenvolvimento de outras habilidades. Na Tabela 1, a seguir, são apresentadas as habilidades relacionadas e suas respectivas descrições.

Tabela 1 – Habilidades BNCC relacionadas ao tema circuitos elétricos

Etapa	Código da Habilidade	Descrição
Ensino Fundamental	EF08CI02	Construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos e compará-los a circuitos elétricos residenciais
	EF02CI03	Discutir os cuidados necessários à prevenção de acidentes domésticos (objetos cortantes e inflamáveis, eletricidade, produtos de limpeza, medicamentos etc.).
	EF05CI01	Explorar fenômenos da vida cotidiana que evidenciem propriedades físicas dos materiais – como densidade, condutibilidade térmica e elétrica, respostas a forças magnéticas, solubilidade, respostas a forças mecânicas (dureza, elasticidade etc.), entre outras.
	EF08CI03	Classificar equipamentos elétricos residenciais (chuveiro, ferro, lâmpadas, TV, rádio, geladeira etc.) de acordo com o tipo de transformação de energia (da energia elétrica para a térmica, luminosa, sonora e mecânica, por exemplo).
	EF08CI04	Calcular o consumo de eletrodomésticos a partir dos dados de potência (descritos no próprio equipamento) e tempo médio de uso para avaliar o impacto de cada equipamento no consumo doméstico mensal.
	EF08CI05	Propor ações coletivas para otimizar o uso de energia elétrica em sua escola e/ou comunidade, com base na seleção de equipamentos segundo critérios de sustentabilidade (consumo de energia e eficiência energética) e hábitos de consumo responsável.
	EF08CI06	Discutir e avaliar usinas de geração de energia elétrica (termelétricas, hidrelétricas, eólicas etc.), suas semelhanças e diferenças, seus impactos socioambientais, e como essa energia chega e é usada em sua cidade, comunidade, casa ou escola.

Ensino Médio	EM13CNT308	Analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos, redes de informática e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos.
	EM13CNT310	Investigar e analisar os efeitos de programas de infraestrutura e demais serviços básicos (saneamento, energia elétrica, transporte, telecomunicações, cobertura vacinal, atendimento primário à saúde e produção de alimentos, entre outros) e identificar necessidades locais e/ou regionais em relação a esses serviços, a fim de promover ações que contribuam para a melhoria na qualidade de vida e nas condições de saúde da população.

Fonte: Ministério da Educação, BNCC.

3 Metodologia

3.1 Estudando a viabilidade

Em um primeiro momento, considerou-se a possibilidade da impressão dos componentes do dispositivo em impressora 3D. Contudo, após análise do preço médio do filamento para impressão, consideraram-se outras opções que trariam um resultado igualmente satisfatório por um menor preço, considerando que a ideia deveria ser replicável e acessível.

Após analisar diferentes materiais, como canudos reciclados, tubos de papel etc., concluiu-se que, por conta de ser um material a ser manuseado pelos estudantes, os tubos que simulariam os condutores deveriam ser de material mais resistente.

Com uma busca nos principais estabelecimentos especializados em produtos para festas e embalagens, encontrou-se o suporte para bolos pequeno com diâmetro de 1,13 cm e 30 cm de comprimento da marca MAGO, que serviu perfeitamente aos propósitos do projeto e custou R\$ 16,00 (dezesseis reais).

Além disso, a fim de facilitar o encaixe dos componentes do circuito, utilizaram-se ímãs de neodímio nas conexões para encaixe rápido. Os ímãs podem ser facilmente encontrados na internet, em sites de departamento ou em lojas especializadas, e são relativamente acessíveis.

Vale ressaltar que os ímãs são itens opcionais e o circuito pode ser montado sem eles. Além disso, utilizou-se um pedaço de MDF reaproveitado de outro projeto que não teve custo algum. Para a base, poderiam ser utilizados fundos de guarda-roupas descartados ou qualquer superfície de montagem disponível.

Na parte eletrônica, foram reaproveitados fios condutores disponíveis. Este material pode ser facilmente encontrado em lojas de eletrônica e é vendido por metro, caso seja necessário adquiri-lo.

Em pesquisa breve, constatamos que seu valor não é elevado, e o comprimento de fio de cobre necessário para a montagem é mínimo. No caso da impossibilidade de reaproveitamento de fios, o gasto com esse material será de no máximo R\$ 8,00, segundo nossas estimativas.

Ainda na parte eletrônica, utilizamos LEDs de 3,0 volts para que o projeto pudesse ser utilizado universalmente. Como serão explicados no diagrama de montagem, os LEDs precisam de resistores para ser ligados em um circuito padrão de 5,0 volts (falaremos mais tarde sobre as possibilidades de complementar o dispositivo com microcontroladores, como o Arduino, que oferece 3,0 e 5,0 volts de tensão). Estes itens custaram aproximadamente R\$ 4,00.

Os buzzers (produtores de frequência sonora) utilizados custaram R\$ 1,00 cada um, totalizando R\$ 5,00. O custo total estimado para a reprodução do dispositivo, levando em consideração as possíveis diferenças de preços nas diferentes regiões, foi de no máximo R\$ 30,00, para atender aos propósitos mínimos de aprendizagem sensorial, sem a implementação de microcontroladores.

3.2 Construção do protótipo

Para a fixação dos tubos na chapa de MDF, utilizou-se inicialmente supercola e bicarbonato para aumentar a dureza. Contudo, percebeu-se que o material não estava adequadamente resistente, optando-se por utilizar massa plástica para a fixação. As partes fixas do projeto (não removíveis) podem ser verificadas na Imagem 1 abaixo.

Imagem 1 – Estrutura básica, não removível.



Fonte: próprios autores.

Uma vez que os ímãs de neodímio, chamados de super ímãs, não podem ser aquecidos e soldados, utilizaram-se porcas reaproveitadas como o contato dos fios. Após a soldagem dos fios nas porcas, os ímãs foram fixados utilizando fita isolante e o conjunto foi colado em um pequeno tubo semelhante aos utilizados para

a construção das partes fixas, mas com um diâmetro um pouco maior. A estratégia de fixação dos ímãs aos condutores é mostrada na Imagem 2 a seguir:

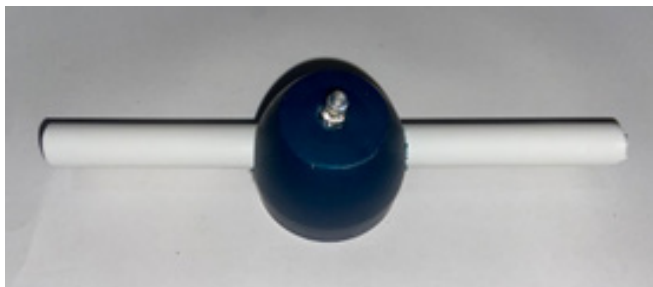
Imagem 2 – Estratégia de junção dos ímãs de encaixe rápido aos condutores.



Fonte: próprios autores.

Para as partes removíveis, utilizou-se o mesmo tipo de tubo das partes fixas (suporte para bolo) e tampas de desodorante roll-on para simular os resistores (lâmpadas). Nas extremidades das partes removíveis, foram fixadas porcas para ser o contato com a parte fixa. Todos os fios foram passados por dentro dos tubos e ligados de forma a permitir a montagem do circuito pelo aluno a partir de dois nós, ficando ao seu critério escolher ligar um único nó (circuito em série) ou dois nós (circuito em paralelo). As partes removíveis foram pensadas para que o aluno pudesse realizar experimentos de montagem de circuitos em série, paralelos e mistos. As Imagens 3 e 4 mostram algumas das peças disponíveis para o aluno experimentar diferentes configurações. A Imagem 4 mostra ainda o recurso utilizado para que seja possível interromper o circuito montado por meio de interruptores e verificar o que acontece em um circuito em série, por exemplo, se um dos componentes é interrompido.

Imagem 3 – Peça removível 1.



Fonte: próprios autores.

Imagem 4 – Peça removível 2.



Fonte: próprios autores.

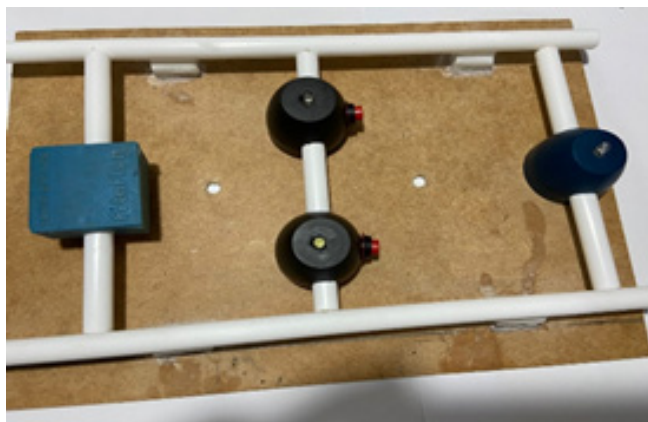
Além disso, confeccionou-se uma peça removível que simula um gerador de DDP, mostrado na Imagem 5. A Imagem 6 mostra um exemplo de uso do dispositivo na montagem de um circuito misto.

Imagem 5 – Gerador de DDP.



Fonte: próprios autores.

Imagem 6 – Exemplo de montagem.



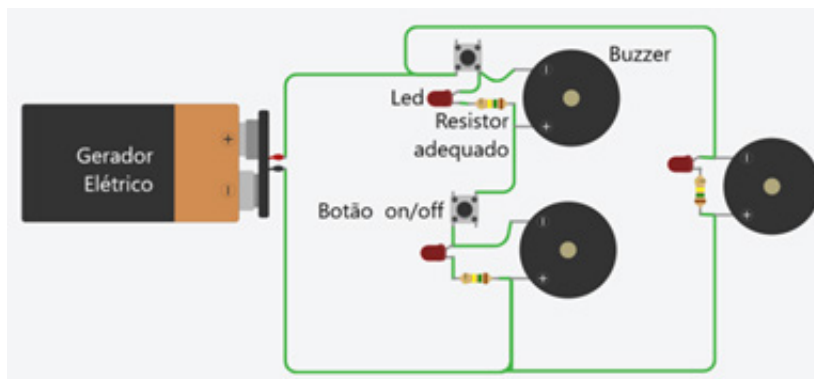
Fonte: próprios autores.

Todo o circuito foi montado e testado. Após isso, o conjunto foi pintado e aplicado textura em um dos tubos fixos para diferenciá-lo do outro lado do circuito, permitindo que o estudante com deficiência visual tenha parâmetros para percorrer o circuito, por exemplo, ao estudar o sentido convencional da corrente elétrica.

3.3 Modelo esquemático de montagem

O modelo esquemático de montagem do circuito é mostrado a seguir na Imagem 7 como uma sugestão, ficando a critério do executante montá-lo de diferentes formas e configurações, conforme desejar.

Imagem 7 – Modelo esquemático de montagem do circuito.



Fonte: próprios autores.

3.4 Possibilidades de implementação

A fim de ampliar as possibilidades de utilização do dispositivo, é possível integrá-lo a um microcontrolador como o Arduino ou o ESP32/ESP8266 para outras funcionalidades inicialmente não previstas. Seria possível, por exemplo, a partir de uma programação adequada, a detecção de alterações no circuito e o direcionamento dos experimentos por meio de áudio.

Também é possível implementar o projeto para que contemple outros experimentos de eletricidade, como a medição de corrente elétrica e variação de resistência. Isso poderia ser feito a partir de módulos próprios para Arduino/microcontroladores, por exemplo. É possível ainda adicionar recursos táteis de textura

para que seja mais fácil reconhecer os polos do circuito ou mesmo a escrita em Braille para facilitar o manuseio do dispositivo e o enriquecimento da experiência.

4 Proposta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa-UEPS para introdução ao estudo de circuitos elétricos.

Nesse tópico para uma abordagem inicial do experimento envolvendo os circuitos elétricos apresentamos uma sugestão de uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS) cuja característica principal segundo MOREIRA e MASSONI (2016, p. 134) é tratar o ensino de um tópico específico com uma curta duração e não o currículo geral, caracterizando-se em três aspectos:

- Conteúdo;
- Psico-cognição;
- Estratégias didáticas.

Objetivo: Introduzir os conceitos de Circuitos Elétricos e suas formas de associação de resistores em série, paralelo e misto.

Sequência:

1. Situação inicial: Investigar as discussões de ensino que favoreçam amplo conceito dos conhecimentos pré-existentes dos alunos. Aqui poderá ser aplicada pelo professor uma apresentação histórica do desenvolvimento da Eletricidade no início do século.

2. Situações - problema:

- a) Por que a necessidade das diferentes formas de associações?
- b) Qual a ideia inicial para se chegarem às propriedades das associações em série e paralelo?
- c) Qual a função do multímetro no experimento?
- d) Qual a função dos resistores no experimento?
- e) Conservação de cargas e de energia no experimento.
- f) Quais as principais aplicações no seu cotidiano da

associação de resistores?

Experimento: Coletar os dados do experimento para obter a medida experimental das resistências equivalentes e das correntes em cada ramo do circuito.

3. Aprofundando o conteúdo:

Nesse tópico o professor poderá abordar o princípio de funcionamento dos resistores como forma de abordagem de introdução ao Eletromagnetismo.

4. Revisão de conteúdo:

Nesse tópico é necessário revisar os principais conceitos envolvidos na atividade aprofundando e ampliando as discussões que poderão ser feitas através de uma exposição dialógica do professor seguida de uma discussão em grupo. A apresentação de um mapa conceitual envolvendo os tópicos abordados até esse ponto colabora para a fixação do conteúdo.

5. Avaliação pontual:

O professor poderá avaliar a atividade avaliativa individual por meio de questões objetivas e dissertativas acerca dos conceitos discutidos.

6. Avaliação da aprendizagem na unidade de ensino potencialmente significativa.

Nesse tópico da atividade é fundamental a verificação qualitativa da atividade aqui proposta investigando se há sinais de que a aprendizagem significativa ocorreu.

4 Considerações finais

Neste artigo, demos mais um passo em direção à democratização da aprendizagem buscando uma perspectiva inclusiva para o ensino de Física e Ciências da Natureza. Esta é uma contribuição singela para a vastidão de pesquisas em Educação, sabendo que ainda há muito a ser feito para garantir uma educação verdadeiramente inclusiva e acessível. Paralelamente a este trabalho,

estamos desenvolvendo outros projetos com o mesmo propósito, voltados ao ensino de Química e Matemática, sempre em busca de inovações que atendam às necessidades dos estudantes com deficiência visual.

Nosso compromisso com a educação inclusiva nos levou a procurar referências e colaborações com especialistas que atuam na área, sobretudo na formação de professores e atuação na sala de recursos de escolas do Estado de São Paulo. Essas parcerias são fundamentais para que os recursos desenvolvidos sejam eficazes e que as metodologias propostas sejam implementadas de acordo com as melhores práticas pedagógicas. A troca de experiências com profissionais dedicados à inclusão educacional fortalece nosso trabalho e amplia as possibilidades de impacto positivo.

Além de criar recursos educacionais acessíveis, estamos focados no aprimoramento das estratégias de ensino sob a ótica da inclusão. Acreditamos que a formação e capacitação dos professores são essenciais para a transformação educacional. Por isso, investimos em publicações que apresentam possibilidades experimentação a baixo custo na perspectiva da inclusão.

Acreditamos, por fim, que a Educação é fortalecida através do compartilhamento de ideias e a democratização do conhecimento, de maneira a torná-lo acessível e replicável. Demonstramos, assim, que com um experimento relativamente barato e de montagem simples podemos não só alcançar os alunos com necessidades educacionais especiais, mas a sala de aula como um todo de maneira envolvente, concretizando, assim, a inclusão.

Referências

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

COTTA, D. and SILVA, M.B. and SASSERON, L.H, Alfabetização científica: aprender ciências para transformar

a sociedade [online]. *SciELO em Perspectiva: Humanas*, 2021. Disponível em: < <https://humanas.blog.scielo.org/blog/2021/12/16/alfabetizacao-cientifica-aprender-ciencias-para-transformar-a-sociedade/> >. Acesso em 29/10/2024.

CRITTELLI, B. C.; CAMARGO, E. P. de; et. al. Saberes docentes y educación inclusiva en la confección de recursos didáticos de ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 42-1, 2024, p. 85 – 103. Disponível em: < <https://ensciencias.uab.cat/article/view/v42-n1-cavalheiro-guridi-rodrigues-et-al/5957-pdf-es> >. Acesso em: 31/10/2024.

FREIRE, Paulo, 1921-1997. Educação e mudança. 1. Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2013. Recurso digital, p. 25.

LIPPE, E. M. O.; CAMARGO, E. P. de. O ensino de ciências e seus desafios para a inclusão: o papel do professor especialista. Scielo Books, Editora Unesp, 2009. Disponível em: < <https://books.scielo.org/id/g5q2h/pdf/nardi-9788579830044-09.pdf> >. Acesso em: 31/10/2024.

Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. . Etapa do Ensino Fundamental, anos finais. Disponível em: < <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#fundamental/ciencias-no-ensino-fundamental-anos-finais-unidades-tematicas-objetos-de-conhecimento-e-habilidades>>. Acesso em: 31/10/2024.

Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. . Etapa do Ensino Médio. Disponível em: < Base Nacional Comum Curricular - Educação é a Base >. Acesso em: 31/10/2024.

Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Etapa do Ensino Fundamental, anos iniciais. Disponível em: < <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/abase/#fundamental/ciencias-no-ensino-fundamental-anos-iniciais-unidades-tematicas-objetos-de-conhecimento-e-habilidades>>. Acesso em: 31/10/2024.

MOREIRA, Marco A.; MASSONI, Neusa T. **Noções básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem como subsídios**

para a organização de sequências de ensino-aprendizagem em ciências/física. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

SILVA, M. R. da; CAMARGO, E. P. de. O atendimento pedagógico especializado e o ensino de física: uma investigação acerca do processo de ensino e aprendizagem de uma aluna cega. Revista Ensaio, Belo Horizonte, v.20, 2018. Disponível em: < scielo.br/j/epec/a/hkPnMDwKk7KBNSNc8ZbBNRn/?format=pdf&lang=pt >. Acesso em: 31/10/2024.

SILVA, S. da et. al. Educação inclusiva e o Ensino de Ciências: um estudo bibliográfico. Editora Unilasalle, Canoas, v. 28, n. 1, 2023. Disponível em: < <https://revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Educacao/article/view/10748/4128> >. Acesso em: 31/10/2024.

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE NÍVEL

Victor Kauê da Silva¹

Guilherme Américo Rosa²

Jackson Tsukada³

Mauro Vanderlei de Amorim⁴

1 Introdução

Atualmente o desenvolvimento industrial está diretamente voltado ao avanço da engenharia de controle. Essa engenharia baseia-se nos fundamentos teóricos da retroação e na análise de sistemas lineares, integrando conceitos teóricos de circuitos e de telecomunicações. Diante disso, a engenharia de controle é aplicável a engenharia aeronáutica, química, mecânica, do meio ambiente, civil e elétrica. Os sistemas de controle, por exemplo, frequentemente incluem componentes elétricos, mecânicos e químicos (DORF; BISHOP, 2001).

Estes sistemas utilizam diversos componentes que unidos

-
- 1 Discente do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário - Unifeitep. E-mail: americo.rosa@hotmail.com
 - 2 Docente do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário - Unifeitep. Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Unicesumar Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. E-mail: prof.guilhermeamerico@feitep.edu.br
 - 3 Docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá – UEM. Graduado em Engenharia Elétrica. Mestrado em Engenharia Elétrica. Doutorado em Engenharia Elétrica. E-mail: jtsukada2018@gmail.com
 - 4 Docente do EBTT do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – IFSP-Campus Jundia. Graduado em Física. Mestrado em Engenharia Elétrica. Doutorado em Engenharia Elétrica. E-mail: maurinhoamorim@gmail.com

e interligados, formam uma configuração de sistema que é capaz de produzir uma resposta desejada no sistema (DORF; BISHOP, 2001). Na área industrial, variáveis como temperatura, pressão, umidade e vazão devem ser controladas de maneira eficiente e robusta, a fim de garantir o bom desempenho do processo de automatização (SANTOS; COSTA; SILVA; SCALASSARA, 2014).

O crescente avanço da tecnologia computacional e dos dispositivos eletrônicos associados a eficiência no desenvolvimento de códigos de controle, possibilitaram que o controle digital fosse amplamente empregado na elaboração de projetos de controle em geral (SANTOS; COSTA; SILVA; SCALASSARA, 2014). Métodos de controle, se devidamente aplicados, geram sistemas eficientes que admitem mudanças de acordo com os padrões de qualidade vigentes (SILVA; LOBATO; SOUZA, 2018).

Atualmente a medição de nível é amplamente utilizada em aplicações industriais. O nível é determinado através do posicionamento da interface entre dois meios, normalmente um líquido é um desses meios. O controlador deve ter seus parâmetros devidamente calibrados e determinados, a fim de garantir um bom funcionamento e comportamento ao longo do tempo (SILVA; LOBATO; SOUZA, 2018).

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um protótipo didático (estrutura, hardware e comunicação com o software) para aplicar os métodos clássicos de sintonia utilizados para parametrizar controladores PID e simular um controle de nível.

A introdução deverá ser breve, com apresentação do contexto do tema abordado, o problema gerador da pesquisa, os principais objetivos e metodologia adotada.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, uma pesquisa de abordagem qualitativa e natureza aplicada foi realizada, uma vez que o trabalho consistiu no desenvolvimento de um protótipo para o controle de nível de um tanque ou reservatório com a intenção de

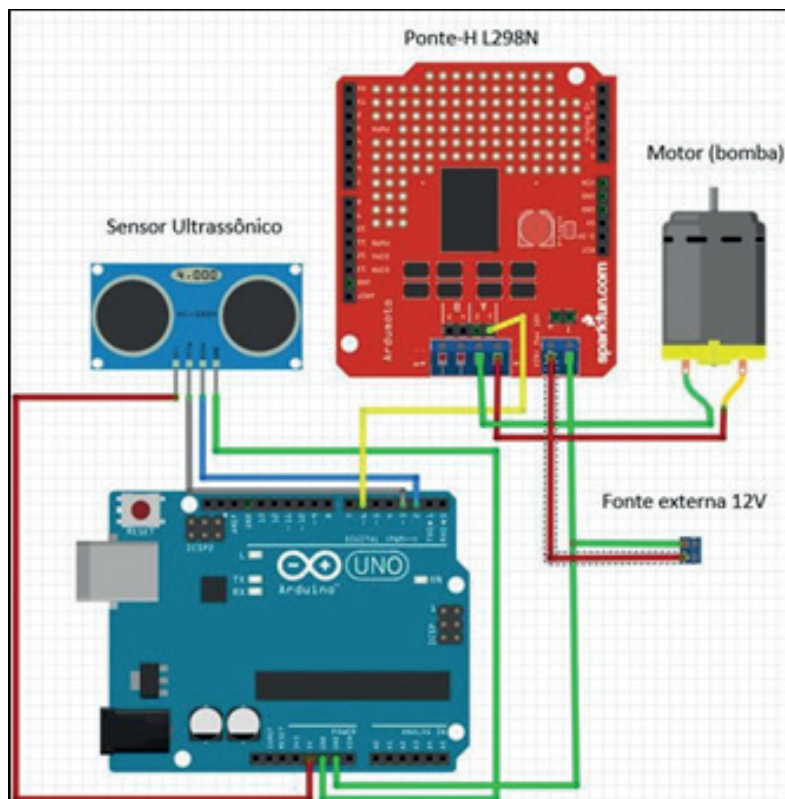
gerar conhecimento prático na aplicação de controladores PID. No que se refere aos objetivos da pesquisa, a mesma foi exploratória, pois foi necessário a realização de um levantamento bibliográfico e várias reuniões com o professor orientador que possui um vasto conhecimento na área.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa realizada se enquadra em experimental. Segundo Cervo, Bervian e Silva (2007), manipular de maneira direta as variáveis associadas ao objeto de estudo é o que caracteriza a pesquisa experimental, nesse tipo de pesquisa as manipulações de variáveis são realizadas com a finalidade de proporcionar o estudo entre causas e feitos de determinado fenômeno.

Para realização desse tipo de pesquisa, é necessário a utilização de equipamentos apropriados para a observar e analisar as variáveis que envolvem o objeto de estudo. Cabe ressaltar que uma pesquisa experimental não se resume apenas em pesquisas realizadas em laboratórios, ou seja, uma pesquisa experimental pode ser realizada tanto em campo quanto em um laboratório (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2007).

A figura 1 representa esquematicamente a ligação utilizada para o correto funcionamento do sistema.

Figura 1 – Ligação utilizada no protótipo.



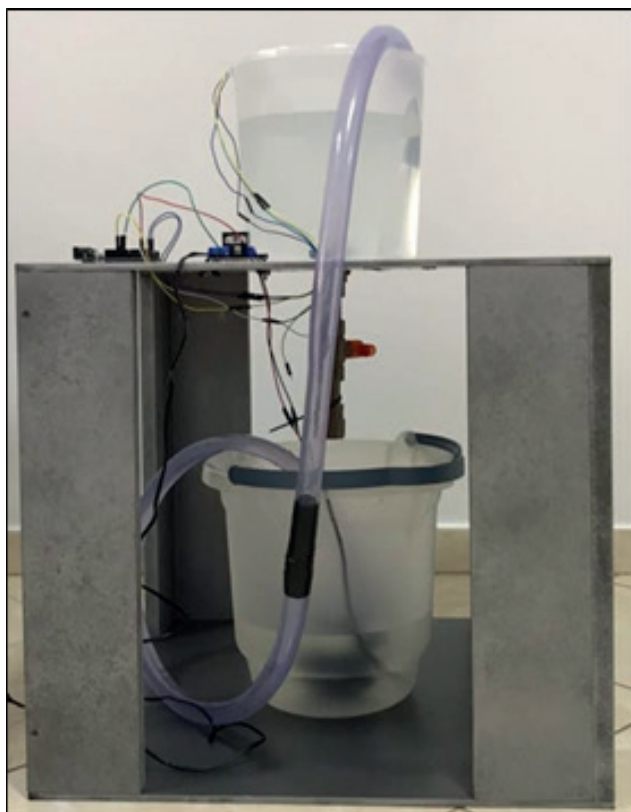
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Na parte superior do protótipo montado se encontra o reservatório principal, onde o controle de nível é realizado, o sensor ultrassônico fica posicionado em cima desse reservatório realizando constantes leituras do nível de fluido presente no mesmo, através dessas leituras o controlador PID atua no sistema realizando a ação de controle desejada, acionando a bomba ou interrompendo seu funcionamento. A parte inferior do protótipo representa um reservatório secundário utilizado para fornecer o fluido necessário para o reservatório principal, esse reservatório conta com uma bomba de água submersa que, quando acionada, bombeia o fluido

necessário ao reservatório principal, o processo montado pode ser observado na figura 2.

O protótipo utiliza uma placa de prototipagem Arduino Uno para comunicar o sistema com o computador / *software* Matlab® (Matrix Laboratory – Laboratório de Matrizes). Essa placa utiliza um microcontrolador ATmega328P, possui 14 pinos de entrada/saída digitais (6 desses podem ser utilizados como saídas PWM), 6 entradas analógicas. Além disso, ele detém de 32 kb de memória flash, 2 kb de sram, 1kb de memória EEPROM e 16 MHz de velocidade de clock.

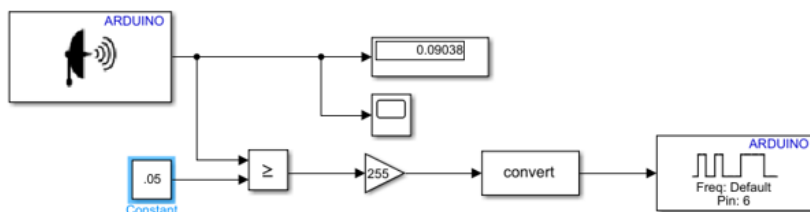
Figura 2 – Protótipo completo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

No interior do *software* Matlab foi utilizada uma ferramenta chamada Simulink, nessa ferramenta foi desenvolvido um circuito que realiza a leitura do sinal digital enviado pelo sensor, compara esse valor com um parâmetro desejado e envia um valor a ser escrito na porta PWM do Arduino caso o valor do sinal recebido não esteja dentro do parâmetro solicitado. Esse sinal enviado a porta PWM do Arduino realiza o acionamento do motor da bomba através de um módulo ponte-H L298N. Esse circuito é apresentado na figura 3.

Figura 3 – Circuito em malha aberta.

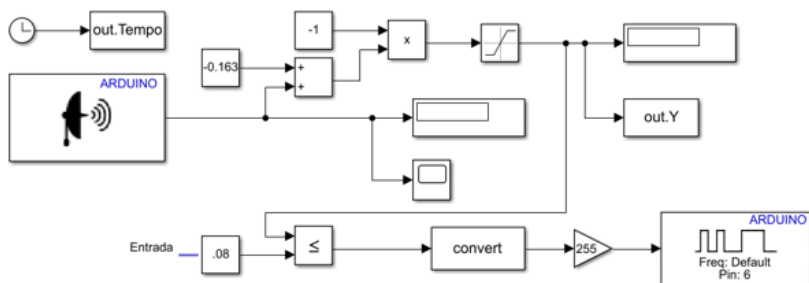


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Ele foi utilizado para obter a resposta do sistema em malha aberta. É atribuído o valor de 0.05 (5 centímetros) que funciona como um degrau unitário aplicado ao sistema, e seu valor é comparado com a leitura do sensor, ou seja, quando o nível de líquido presente no reservatório estiver em 5 ou mais centímetros abaixo do sensor, o valor do sinal de leitura do sensor será convertido e enviará a saída PWM.

Para o circuito em malha aberta como mostrado na figura 3, as leituras obtidas pelo sensor estão invertidas, ou seja, o ponto 0 representa o topo do reservatório e 16,3 representa o fundo. Para resolver esse problema foi necessário adicionar um circuito de conversão antes de realizar a ligação do sistema em malha fechada. O circuito de conversão utilizado é apresentado na figura 4.

Figura 4 – Circuito de conversão desenvolvido.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

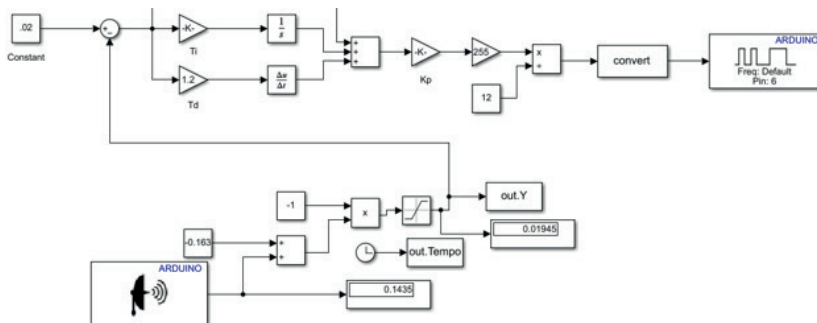
O circuito apresentado na Figura 4 funciona da subtraindo 0.163 (16.3 centímetros) do valor da leitura obtida pelo sensor, logo depois ele é multiplicado por -1 para que o sinal de leitura seja invertido. Após isso, um bloco de saturação define o valor máximo e mínimo para o sinal de acordo com o tamanho do reservatório, ou seja, limite inicial 0 e final 0.163.

Após toda a conversão o sinal é utilizado como condição de funcionamento do sistema, realizando a inversão da leitura realizada pelo sensor. Também é possível observar na figura 4 dois blocos *To Workspace*, esses blocos enviam os valores do sinal (Y) e tempo de simulação (Tempo) para a área de trabalho do Matlab, dessa forma é possível trabalhar e salvar em um arquivo.mat essas duas variáveis executando apenas alguns *scripts* na janela de comando do Matlab.

Utilizando o circuito apresentado na figura 4, injetamos um degrau unitário (entrada) de valor 0.08 no sistema para obter sua resposta.

Para realizar a simulação do controlador PID, foi necessário desenvolver um circuito em malha fechada conforme a figura 5 mostra o circuito em malha fechada.

Figura 5 - Circuito em malha fechada

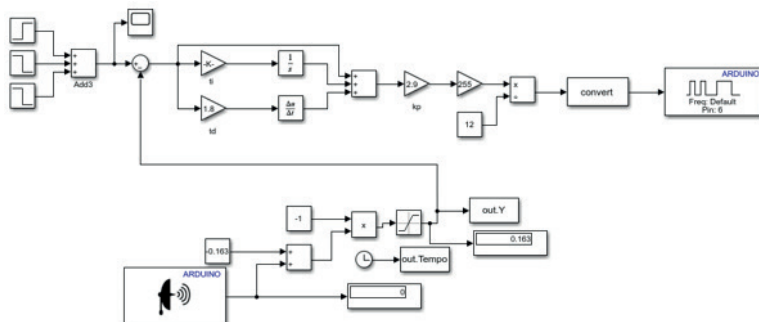


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Na figura 5, o bloco de Constant é utilizado como degrau unitário, injetando o valor desejado na ferramenta de soma do *Simulink*.

Para a realizar testes e os ajustes no controlador PID, foram aplicados os métodos de sintonia Cohen e Coon, Ziegler e Nichols e IMC (Controle por Modelo Interno) a partir do modelo do sistema obtido em malha aberta. Novas entradas foram adicionadas ao circuito apresentado na Figura 5, estas serão injetadas no sistema em diferentes intervalos de tempo para que seja possível definir de maneira mais clara qual o melhor ajuste para o controlador PID, esse novo circuito é apresentado na figura 6.

Figura 6 – Circuito com três sinais de entrada



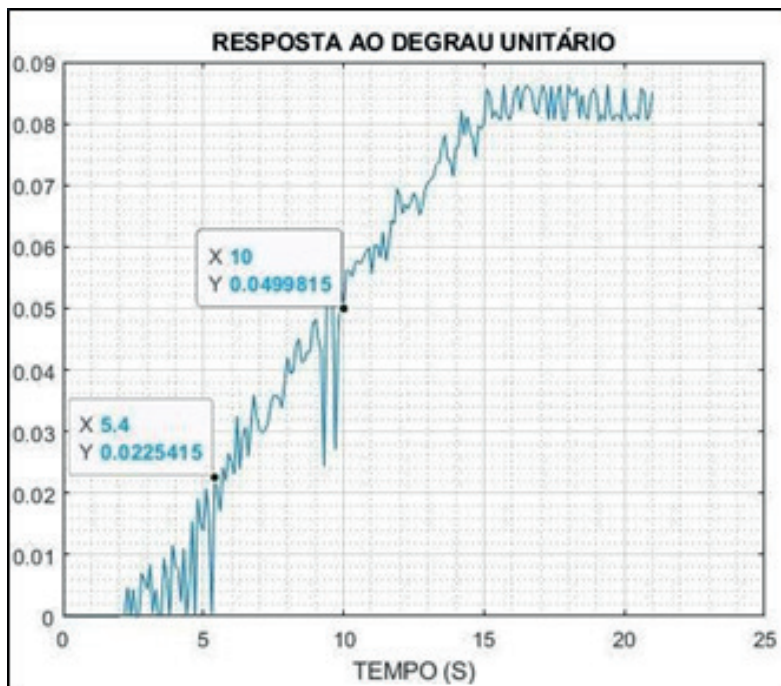
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Utilizamos o circuito mostrado na figura 6 para fazer com que o sistema controlasse o nível do reservatório por 80 segundos em 2 centímetros, depois por mais 80 segundos em 7 centímetros e por mais 80 segundos em 4 centímetros, após essa sequência o teste é finalizado.

2 Resultados e discussões

Podemos observar na figura 7 que a resposta ao degrau apresentou ruídos, responsáveis por dificultar o levantamento do modelo do sistema.

Figura 7 - Resposta ao degrau sinalizando o valor de t_1 e t_2 respectivamente.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Realizando algumas operações dentro da janela de códigos do Matlab, obtemos os valores de K , θ e τ do modelo que foi utilizado para sintonizar o controlador PID. Os valores obtidos no modelo do sistema são mostrados na tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros obtidos com o método de Smith.

	τ	θ	K		
Smith	6,9	3,10	0,086	5,4	10

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Com estes valores bem definidos, o circuito da figura 26 foi utilizado para realização de testes no protótipo. Na janela de comandos do Matlab são carregadas todas as variáveis do modelo citado acima, junto da fórmula para sincronia do controlador PID (IMC, Cohen e Coon ou Ziegler e Nichols) desejada. Como o teste foi realizado diretamente no protótipo, após a realização de cada um dos testes e antes da execução de um novo é necessário limpar todas as variáveis armazenadas no software.

Os parâmetros dos três métodos de sintonia foram calculados antes do início de cada teste dentro do Matlab. As tabelas 2, 3 e 4 irão exibir os parâmetros obtidos para os métodos IMC, Cohen Coon e Ziegler e Nichols respectivamente.

Tabela 2 – Parâmetros do PID por IMC.

Modelos/Parâmetros	K_p	T_i	T_d
Smith	479,1768	8,45	1,2657

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Tabela 3 – Parâmetros do PID por Cohen Coon

Modelos/Parâmetros	K_p	T_i	T_d
Smith	374,0625	6,4816	1,0421

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

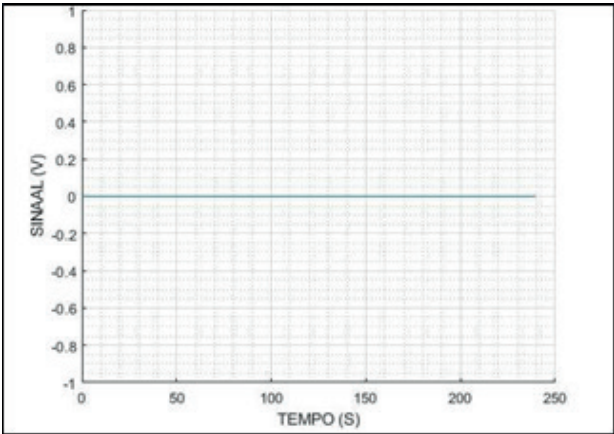
Tabela 4 – Parâmetros do PID por Ziegler e Nichols

Modelos/Parâmetros	K_p	T_i	T_d
Smith	2,6710	13,8	1,55

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O método de sintonia proposto por Ziegler e Nichols foi descartado como uma possível possibilidade de escolha pois o mesmo não gerou nenhuma resposta no sistema. Para que o mesmo método conseguisse gerar uma resposta diferente de 0 foi necessário alterar o ganho para um valor acima do calculado, por isso esse método foi descartado. A figura 8 exibe o gráfico com o teste desse método de sintonia.

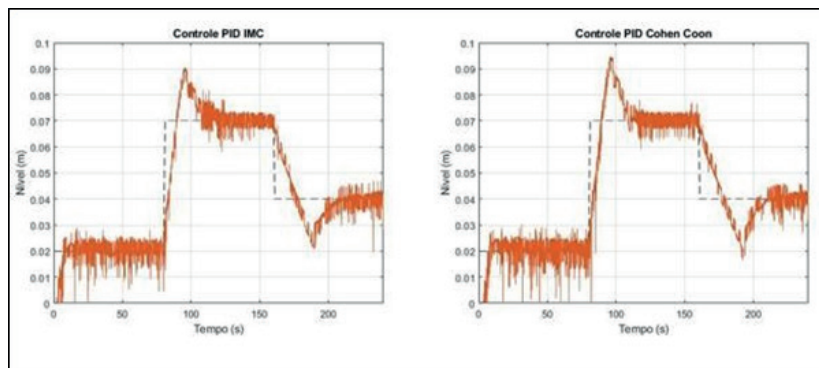
Figura 8 – Simulação PID com Smith e Ziegler e Nichols.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A figura 9 ilustra as respostas obtidas pelos métodos de sintonia IMC e Cohen e Coon, sendo essas duas respostas comparadas com o valor *doset point*.

Figura 9 – Comparação IMC com Cohen e Coon.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Observando a figura 9 determinamos que os métodos IMC e Cohen Coon apresentam respostas muito similares. Porém, o método Cohen Coon apresenta *overshoot* (valor que a variável ultrapassa o limite estabelecido) e tempo de assentamento (tempo que o sinal leva para alcançar o limite estabelecido) superior se comparado ao método IMC. Com base nessa análise, o controle PID realizado com o método de sintonia IMC é o que melhor se aplica ao protótipo desenvolvido.

3 Considerações finais

Para o protótipo desenvolvido, a sintonia PID por IMC apresentou melhores resultados quando comparada a sintonia Cohen Coon, chegamos a essa conclusão comparando os gráficos da figura 31. Nele podemos observar que mesmo as respostas sendo semelhantes o método IMC apresentou menor *overshoot* e tempo de assentamento quando comparado ao outro método.

O tipo de análise realizado para determinar qual o melhor método se encaixou no sistema também pode servir para escolher um controlador para uma planta, já que existem inúmeros sistemas diferentes com diferentes tipos de necessidades. Dessa forma podemos concluir que o método de escolha depende da necessidade ou dos critérios da planta onde será aplicado.

Sabemos que o controle PID é utilizado no mundo todo, com diferentes aplicações sejam elas industriais ou residenciais. O mesmo processo para desenvolver o controlador PID utilizado nessa pesquisa pode ser aplicado a inúmeras outras plantas além de um sistema de controle de nível.

Referências

BERVIAN, P. A. CERVO. AL. SILVA, R. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/341/pdf/0?code=BjUTXCLALvySk3Zx4OpwpmjztzF5mJJ802gnB1b8lW87e1+7XsaUOjUBneQopiRIBsgg==>. Acesso em: 14 de junho de 2021

DORF, R. C., BISHOP, R. H., **Sistemas de Controle Modernos**, 8ª Edição. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: br1lib.org/book/3501957/8a2b60. Acesso em: 21 de maio de 2021.

SANTOS, C. M., COSTA, B. L., SILVA, R. A., SCALASSARA, P. R. Desenvolvimento de um módulo de controle de nível utilizando o kit Arduino Uno. In: XX Congresso Brasileiro de Automática. Belo Horizonte, Brasil. Disponível em: <http://www.swge.inf.br/cba2014/anais/PDF/1569934331.pdf>. Acesso em: 26 de março de 2021.

SILVA, L. D., LOBATO, F. S., SOUZA, D. L., Projeto e análise de controladores pid para o controle de nível de líquido em um tanque em planta piloto. 2018. 8 f. Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de

Engenharia Química, Uberlândia, 2018.

Disponível em: essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/enmc-ectm/article/view/12469/9885. Acesso em: 31 de março de 2021.

DISPARADOR ELETROMAGNÉTICO DE PROJETEIS

Felipe Machado Nolasco¹

Caroline Barbosa Vieira²

1 Introdução

Um disparador eletromagnético é um tipo de acelerador de projéteis o qual consiste em bobinas utilizadas como eletroímã que, através da indução é capaz de fazer com que um projétil ferromagnético atinja altas velocidades ocasionando assim, o disparo. Tais dispositivos também são denominado como canhão de Gauss, pois foi criado por Johann Carl Friedrich Gauss. A construção do disparador eletromagnético deste artigo foi modificado de Ivver (2021), e adaptado às especificações para um laboratório didático de engenharia elétrica.

2 Fundamentação teórica

O princípio de indução eletromagnética refere-se a um fenômeno que gera uma força eletromotriz em um meio condutor ou em um objeto que está sob a influência de um campo magnético

1 Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade do Vale dos Sinos – UNISINOS, Especialista em matemática pela Universidade Federal do Piauí - UFPI. Pós-graduando em Tutoria em educação a distância pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS E-mail: Felipenolasco_1@hotmail.com

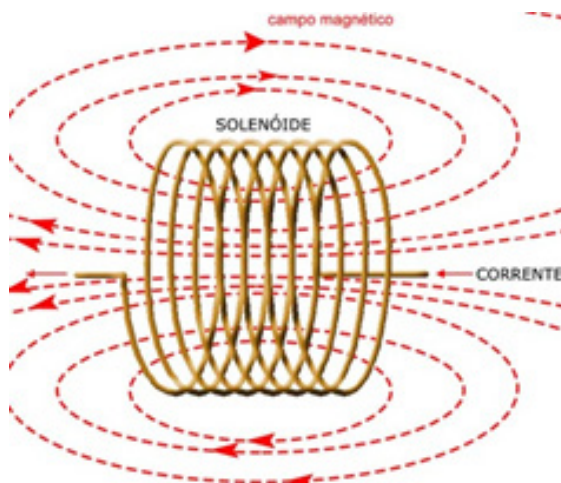
2 Tecnóloga em Gestão Ambiental IFRS. Bacharel em Ciências Biológicas UFPel. Especialista em matemática pela Universidade Federal do Piauí - UFPI. Mestre em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos UFRGS. E-mail: carolinevieirabiologia@gmail.com

variável.

A transferência de energia para o objeto que se deseja disparar ocorre por meio de indução eletromagnética, transformando de energia magnética para energia cinética.

A força exercida no disparador eletromagnético será capaz de provocar o lançamento do projétil sendo proveniente do campo magnético, criado por uma corrente induzida numa bobina. A obtenção dessa força mecânica, gerada a partir da energia elétrica, que consequentemente gera um campo magnético, que é criado por um solenoide conforme figura 1.

Figura 1– Campo magnético solenoide



Fonte: Newton C. Braga

O cálculo para o campo magnético gerado dentro do solenoide é dado por:

$$B = \mu \cdot \frac{N}{L} \cdot i$$

Onde:

B= intensidade do campo magnético (T)

u= permeabilidade magnética do meio

N= número de espiras

i= corrente que atravessa o solenoide

l = comprimento do solenoide

2.1 construção do disparador eletromagnético

Para a construção do disparador eletromagnético foi utilizado:

10 – Capacitores 480uF/400V

2 – Resistor 100 ohms/10W

1 – Diodo 1N4007

1 – Interruptor

1- Tubo de caneta BIC

Foi construído um banco de capacitores, colocando os 10 capacitores em paralelo para se ter uma capacitância total de 4,8mF, para carregar esses capacitores utilizamos a tensão da rede de 220V/60Hz, a qual passa por um diodo para retificar a onda e carregar banco de capacitores.

A confecção da bobina foi utilizada o fio AWG 18 de 40 espiras com 11 camadas enrolado em um tubo de caneta BIC, utilizando a fórmula:

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l}$$

Onde:

μ – permeabilidade do vácuo

N – Número de espiras

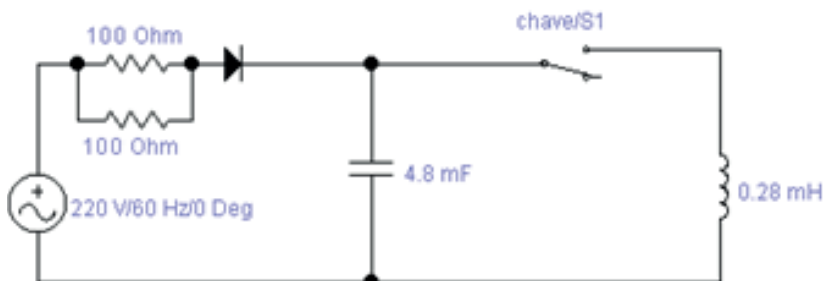
A – Área

L – Comprimento

Resultando em uma indutância de 0.28mH.

O esquemático do circuito resultante ficou conforme figura

Figura 2 –Esquemático do circuito



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a montagem do circuito foi realizado a confecção da caixa onde acomodaria nosso disparador eletromagnético.

Foi escolhido uma que pudesse acomodar os capacitores que conteriam uma carga alta sem encostar em algo que pudesse ser conduzido, as dimensões da caixa escolhida foi 30cm de comprimento, 20cm de largura e 20cm de altura, conforme a figura 3 mostra a disposição dentro dessa caixa.

Figura 3 – Disposição do circuito montado



Fonte: elaborado pelo autor

A figura 4 mostra o interruptor de acionamento e a figura 5 mostra o local do disparo.

Figura 4 – Local do interruptor de disparo



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 – Local do disparo do projétil



Fonte: Elaborado pelo autor

2.2 Método de operação

Para operar o disparador eletromagnético de forma segura, devemos seguir alguns passos:

1. Colocar a chave na posição “carregamento” e conectar a alimentação na rede de tensão de 220V.
2. Após 10 segundos ligado na rede, deve-se desconectar o conector da mesma.
3. Após colocar o projétil dentro do tudo de disparo, atentando para a marca nele que garantirá a melhor posição para o disparo.
4. Pressionar a chave para posição Disparo para disparar o projétil.

2.3 Cuidados ao manuseio

Ao realizar o manuseio do disparador eletromagnético devemos tomar os seguintes cuidados:

- Nunca pôr a mão na frente do disparador quando tiver um projétil dentro dele;
- Nunca encostar a mão no banco de capacitores;
- Certificar-se que o interruptor esteja na posição Carregamento antes de ligar na rede elétrica;
- Certificar-se que esteja desconectado da rede ao disparar.

2.4 Teste

A Fim de testes, e medições foi realizado a medição do indutor que constatou que o mesmo tem 0,28mH de indutância, a energia armazenada no sistema é dada pela equação:

$$U = \frac{CV^2}{2}$$

Onde:

U – Energia armazenada no Sistema

C – Capacitância

V – Tensão

Como temos uma capacitância de 4,8mF e uma tensão nos capacitores de 300V, a energia armazenada é de 216J.

O projeto demonstrou uma eficiência de 1 disparo por carga, tendo um tempo de carga 10 segundos.

Após um teste de um disparo no alvo a 5m de distância levou um tempo de 0,38s para atingir o alvo, após isso foi realizado a equação:

$$v = \frac{D}{T}$$

Onde:

v – velocidade

D – Distância percorrida

T – Tempo

Onde o resultado dessa equação é de 14,7m/s de velocidade do projétil.

Além disso, foi realizado um teste complementar com ajuste de ângulo, sendo que o disparo no ângulo 0° foi de 7,5m, ajustando o disparador em 10°, e assim, se obteve um ganho na distância, chegando a atingir 18m.

3 Considerações finais

Com o desenvolvimento deste projeto foi possível verificar e comprovar o funcionamento de um campo magnético, criado a partir de uma bobina, com o foco de ser um disparado eletromagnético. Apesar da dificuldade de se ter uma bobina ideal para ocorrer o disparo, podemos também verificar que a carga e tensão armazenada no nosso banco capacitores além do peso e

tamanho do projétil influenciaria muito na força do disparo.

Alguns problemas ocorreram durante o projeto, principalmente devido à alta corrente e tensão que era armazenada no capacitor, ocorrendo muitas vezes a queima do resistor. Para solucionar esse problema foi decidido trocar o resistor por dois resistores em paralelo assim dividindo a potência em cada resistor.

Com este experimento pode-se comprovar o funcionamento de um disparador eletromagnético conforme a bibliografia. Cálculos mais complexos para validar a potência efetiva e as correntes que estão sendo induzidas requerem equipamentos específicos de medição para poder determinar os campos gerados no interior da bobina.

Finalizando, ao realizar a montagem do disparador eletromagnético, foi possível atingir a distância pré-determinada, e até distâncias maiores, com uma força de impacto considerável.

Referências

Ivver. Instructables. **Electromagnetic Cannon (coil Gun)**.

Disponível online em: <https://www.newtoncbraga.com.br/como-funciona/3890-mec095.html>. Acessado em 20 de novembro de 2021.

Newton C. Braga. **Como funciona o solenóide (MEC095)**.

Disponível online em: <https://www.newtoncbraga.com.br/como-funciona/3890-mec095.html>. Acessado em 11 de dezembro de 2021.

SISTEMA DE AQUECIMENTO POR INDUÇÃO

Felipe Machado Nolasco¹

Caroline Barbosa Vieira²

1 Introdução

O aquecimento dos materiais ferromagnéticos através da indução magnética é bastante usual em indústrias como siderúrgicas ou fabricantes de transformadores, por exemplo.

Sendo um processo de aquecimento de um objeto eletricamente condutor, que em geral é um metal. O aquecimento desse objeto é feito por indução eletromagnética, onde as **correntes de Foucault** são geradas no interior do material e a resistência provoca o seu aquecimento.

No presente artigo apresentaremos todas as etapas desenvolvidas, como cálculos utilizados, projeto, construção do protótipo e dificuldades encontradas para a finalização de um forno construído para um laboratório didático de conversão de energia da engenharia elétrica.

1 Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade do Vale dos Sinos – UNISINOS, Especialista em matemática pela Universidade Federal do Piauí - UFPI. Pós-graduando em Tutoria em educação a distância pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS E-mail: Felipenolasco_1@hotmail.com

2 Tecnóloga em Gestão Ambiental IFRS. Bacharel em Ciências Biológicas UFPel. Especialista em matemática pela Universidade Federal do Piauí - UFPI. Mestre em Gestão e Regulação em Recursos Hídricos UFRGS. E-mail: carolinevieirabiologia@gmail.com

2 Fundamentação teórica

De acordo com a Lei de Faraday, a tensão induzida num condutor imerso em um campo magnético variável é tanto maior quanto a variação do fluxo magnético.

$$E = -\frac{d\phi}{dt}$$

Onde:

E = Tensão

ϕ = fluxo magnético

t = tempo

Assim, para que a variação do fluxo no tempo seja grande é necessário que o fluxo seja elevado ou que o tempo seja pequeno. Então, surge a necessidade da alta frequência, uma vez que ela é inversamente proporcional ao tempo.

$$f = \frac{1}{T}$$

Onde:

f = frequência

T = período

O campo magnético produzido pela bobina induz uma corrente elétrica no material imerso no campo, gerando internamente à peça as Correntes de Foucault. A alta frequência faz com que os elétrons se movimentem em velocidade extrema, produzindo grande quantidade de calor.

2.1 Construção do aquecedor indutivo

Para a construção de um aquecedor indutivo foi utilizado os seguintes materiais:

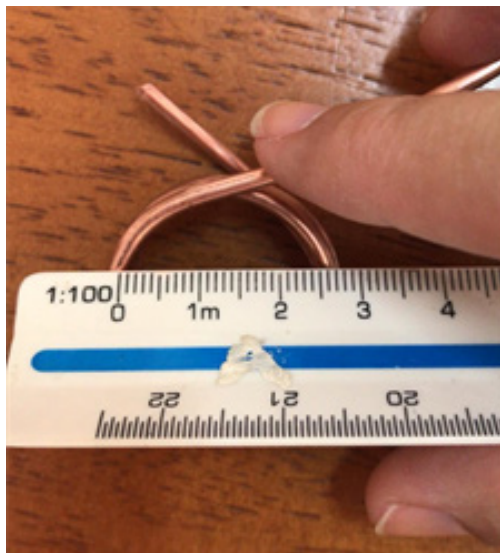
- Uma fonte de alimentação variável 0 a 30V
- 2m de fio rígido 6mm²

- 2 capacitores MKP 220nF 250V
- 1 capacitor MKP 330nF 250V
- 2 resistores 220 Ω 10W
- 2 diodos Schottky 1N5819
- 2 transistores MOSFET IRFZ44N

As bobinas L1 e L2 são, na verdade uma única bobina formada pelo fio rígido de 6mm². Essa bobina possui um center tape, formando o núcleo do aquecedor. Para construção foram enroladas duas bobinas com 2,4cm de diâmetro, com 4 voltas cada uma. Após a construção as bobinas foram unidas, formando o *center tape*, esta bobina possuía ao todo 1,65 μ H.

Já a bobina L3 foi montada com o mesmo fio da L1 e L2, mas foi alterado o número de voltas para 12 e o diâmetro para 1,2cm, e foi verificado que possuía 3 μ H. Essa bobina foi construída para evitar o retorno da radiofrequência para fonte e melhorar o rendimento do circuito, conforme as figuras 1 e 2:

Figura 1: diâmetro da bobina L1 e L2



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 2: diâmetro da bobina L3.



Fonte: elaborado pelo autor

Os componentes L1, L2 e C1 formam o circuito ressonante. Para obter a alta frequência, foi definido que seria utilizado 150kHz e, para isso, foi projetado o valor de capacitância necessária, conforme demonstrado a seguir, onde o circuito ressonante é obtido quando a reatância capacitiva é igual a reatância indutiva

$$X_c = X_L \Rightarrow \frac{1}{2\pi f C} = 2\pi f L \Rightarrow C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L}$$

$$C = \frac{1}{4\pi^2 (1500)^2 (1,65\mu H)} \Rightarrow C = 682,29nF$$

Onde:

X_c = Reatância capacitiva

X_L = Reatância indutiva

C = Capacitância

L = Indutância

f = Frequência

O valor calculado foi para um capacitor de 682,29nF, devido aos materiais disponíveis para sua construção, sendo necessário a realização de uma associação de 3 capacitores, obtendo então 770nF. Para isso, recalculamos para verificar qual a frequência obtida:

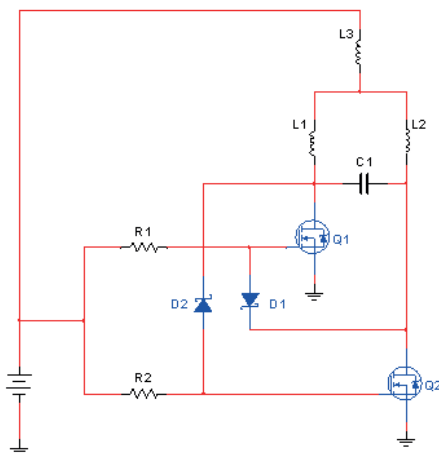
$$X_c = X_L \Rightarrow \frac{1}{2\pi f C} = 2\pi f L \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{(1,65\mu H)(770nF)}} \Rightarrow f = 141kHz$$

Foi verificado que esta frequência foi adequada para o funcionamento do projeto, visto que representa 94% do valor inicialmente determinado, e foi optado a utilização de um capacitor do tipo MKP. Este tipo de capacitor foi a escolha ideal para este projeto, pois este tipo de capacitor é projetado para o uso em alta frequência.

Para o chaveamento do circuito ressonante foi utilizado o transistor MOSFET IRFZ44N, o qual possui especificação para 55V e 49A, trabalhando em conjunto com os diodos Schottky 1N5819.

Segue logo abaixo o esquemático do projeto:



Fonte: elaborado pelo autor

Após a montagem foi confeccionada uma base, para colocar o aquecedor indutivo, em uma caixa de 25 cm de comprimento por 16 cm de largura conforme a figura 4 e figura 5, mantendo a bobina que iria aquecer fora da caixa, além de dois conectores para ligar a fonte de alimentação:

Figura 4: vista da caixa lateral.



Fonte elaborado pelo autor

Figura 5: vista frontal da caixa.



Fonte: elaborado pelo autor

2.2 Cuidados de manuseio

1. Cuidado ao ligar a fonte de alimentação no circuito, para colocar o positivo e negativo no local indicado.
2. Quando operar o aquecedor indutivo e for colocar uma amostra na bobina utilizar um equipamento que não propague calor para o usuário.
3. Ao retirar a amostra de dentro da bobina, largar em local seguro, pois o mesmo estará aquecido a uma temperatura muito alta.

2.3 Método de operação

4. Ligar a fonte nos terminais indicados, e conforme descrito, positivo no (+) e negativo no (-)
5. Após ligada colocar a amostra na bobina
6. Após aquecida tirar a amostra e largar em local seguro
7. Desligar a fonte de alimentação

2.4 Testes

Este circuito em vazio (sem o corpo de prova introduzido nas bobinas) demanda uma corrente de aproximadamente 2,22A da fonte de tensão de 17V, conforme mostrado na figura 6.

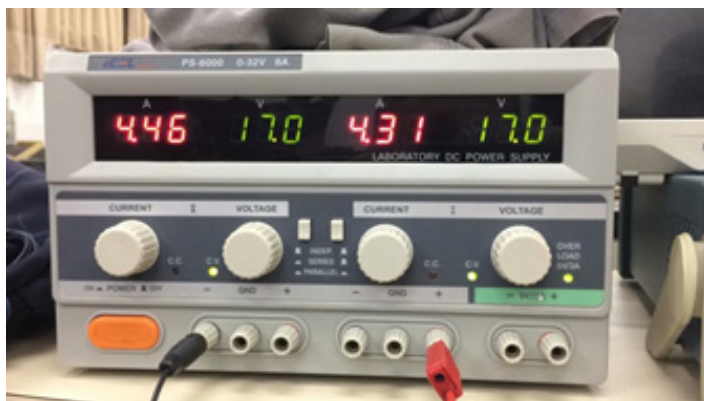
Figura 6: Fonte sem corpo de prova.



Fonte elaborado pelo autor

Ao introduzir o corpo de prova no interior do indutor, esta corrente chega a aproximadamente 8,77A. conforme a figura 7.

Figura 7: Fonte com o corpo de prova.

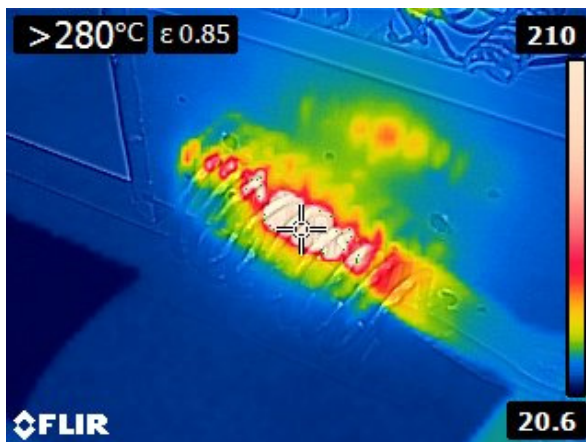


Fonte elaborado pelo autor

Devido ao limite de corrente da fonte de tensão ser de 6A, foi colocadas duas fontes em paralelo, para que seja suprido a corrente total do circuito.

Com a utilização da Câmera Térmica FLIR, foi mensurado a temperatura do corpo de amostra conforme mostrado na figura 8. E na figura 9 temos o mesmo corpo, mas por uma câmera normal.

Figura 8: Corpo de amostra sob efeito do aquecedor indutivo



Fonte elaborado pelo autor.

Figura 9: captura por uma câmera normal.



Fonte elaborado pelo autor.

Porém, a câmera possui uma capacidade de leitura até 280°C, não conseguindo ler acima destes valores. Para obter uma aproximação da temperatura máxima que a carga pode atingir no

experimento, foi utilizada a escala de emissão de radiação térmica para o aço comum, cujo é padrão de referência para estas cargas, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Tabela de cor de calor

Cor	Temperatura Aproximada		
	°F °	C	K
Vermelho fraco	930	500	770
Vermelho sangue	1075	580	855
Cereja escura	1175	635	910
Cereja media	1275	690	965
Cereja	1375	745	1020
Cereja brilhante	1450	790	1060
Salmão	1550	845	1115
Laranja escuro	1630	890	1160
Laranja	1725	940	1215
Amarelo	1830	1000	1270
Amarelo claro	1975	1080	1355
Branco	2200	1205	1480

Fonte: Adaptado de Boylestad, R.; Nashelsky, L.

Ao analisar essa tabela podemos ver que pela cor da amostra ficou por volta de 745°C, um valor bastante satisfatório. A amostra atingiu essa temperatura de 745°C num tempo de 20s.

2.5 Problemas encontrados na montagem

O primeiro problema encontrado na montagem, foi na criação das bobinas, a bobina menor L3 na primeira vez foi confeccionada, com o fluxo invertido, logo em vez o sentido da corrente ser enviado para o center tape da bobina L1 e L2 estava enviando para fonte, assim a mesma entrava em curto. Após corrigir o sentido da corrente enrolando a bobina para o sentido correto

pretendido, foi observado que o circuito estava demandando muita corrente, então para melhorar o desempenho, foi construído com diâmetro menor que a primeira bobina criada, passando de 2.4cm para 1.2cm.

Foi observado que o diâmetro construído para as bobinas L1 e L2 estavam grandes, e isto ocasionou problemas nas bobinas, logo o campo magnético gerado dentro destas bobinas era muito fraco, para gerar uma corrente que crie um campo magnético com esse diâmetro necessitaria que a fonte que foi utilizado no projeto tivesse uma capacidade de gerar uma corrente maior, desta forma foi optado em diminuir o diâmetro da bobina L1 e L2, passando de 4,5cm para 2,5cm assim tendo um campo magnético mais denso, e logo isso impactaria numa corrente menor para ser possível a geração de um aquecimento pelo campo magnético.

3 Considerações finais

Apesar de ocorrer imprevistos nas bobinas, foi possível aplicar o conhecimento gerado para a construção do projeto, principalmente a regra da mão direita, que foi fundamental para a criação do enrolamento das bobinas e para as soluções dos problemas encontrados.

Foi possível atingir níveis altos de temperatura com uma corrente relativamente baixa e uma tensão baixa, atingindo satisfatoriamente o objetivo deste artigo.

Referências

Induction Heater Tutorial- 10kw and 3kw. Disponível online em: <http://inductionheatertutorial.com/> . Acessado em 25 de outubro de 2022

Boylestad, R.; Nashelsky, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos.** 5ª. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil LTDA, 1994.

Chi Associates. **Know Temperature when metal glows red.** Hearth.com. Disponível online em: <https://www.hearth.com/talk/wiki/know-temperature-when-metal-glows-red/> . Acessado em 22 de junho de 2023

Fitzgerald, A. E.; JR., C. K.; UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas.** 6ª. ed. [S.l.]:Bookman, 2006

Nardi, M. **Como fazer um aquecedor indutivo fácil.** Disponível online em: <http://www.marlonnardi.com/p/como-fazer-um-aquecedor-indutivo-facil.html>. Acesso em 23 de novembro de 2022

Newton C. Braga. **Curiosidades.** Disponível online em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/49-curiosidades/1460-art216.html>. Acessado em 11 de maio de 2023.

Piava. **Aquecedor por indução.** Disponível online em: <https://www.ibytes.com.br/esquema-e-detalhes-para-montar-aquecedor-por-inducao-magnetica/>. Acessado em 30 de novembro de 2022.

Tanner Tech. **DIY Induction Heater.** Disponível online em: <https://www.instructables.com/id/DIY-Induction-Heater/> . Acessado em 19 de julho de 2023.

Ciente das constantes evoluções nas tecnologias de forma global surge a necessidade urgente de uma integração metodológica entre os tópicos atuais de ensino das engenharias de maneira geral e em particular na engenharia elétrica. A adequação dos temas visando atingir os parâmetros de ensino estabelecidos pelo Ministério da Educação é um constante desafio para todos os docentes. Nesse sentido, esse trabalho visa contribuir com alguns exemplos de estudos de caso e com propostas concretas desenvolvidas por docentes do Instituto Federal de Educação de São Paulo –IFSP- campus Jundiaí, numa parceria com docente da Universidade Estadual de Maringá e da Faculdade de Engenharia e Inovação Técnico Profissional - FEITEP e discentes das referidas instituições. Assim, os temas abordados aqui surgem nesse cenário e entre suas contribuições e possibilidades, permite discussões e reflexões profundas sobre a prática docente. É possível encontrar modelos de atividades experimentais, relatos de experiências e discussões conceituais que é o objetivo principal dos artigos aqui apresentados no campo educacional. Contudo, respeitamos a liberdade dos docentes leitores que entendemos serem os melhores conhecedores do contexto educacional e social em que atuam.

