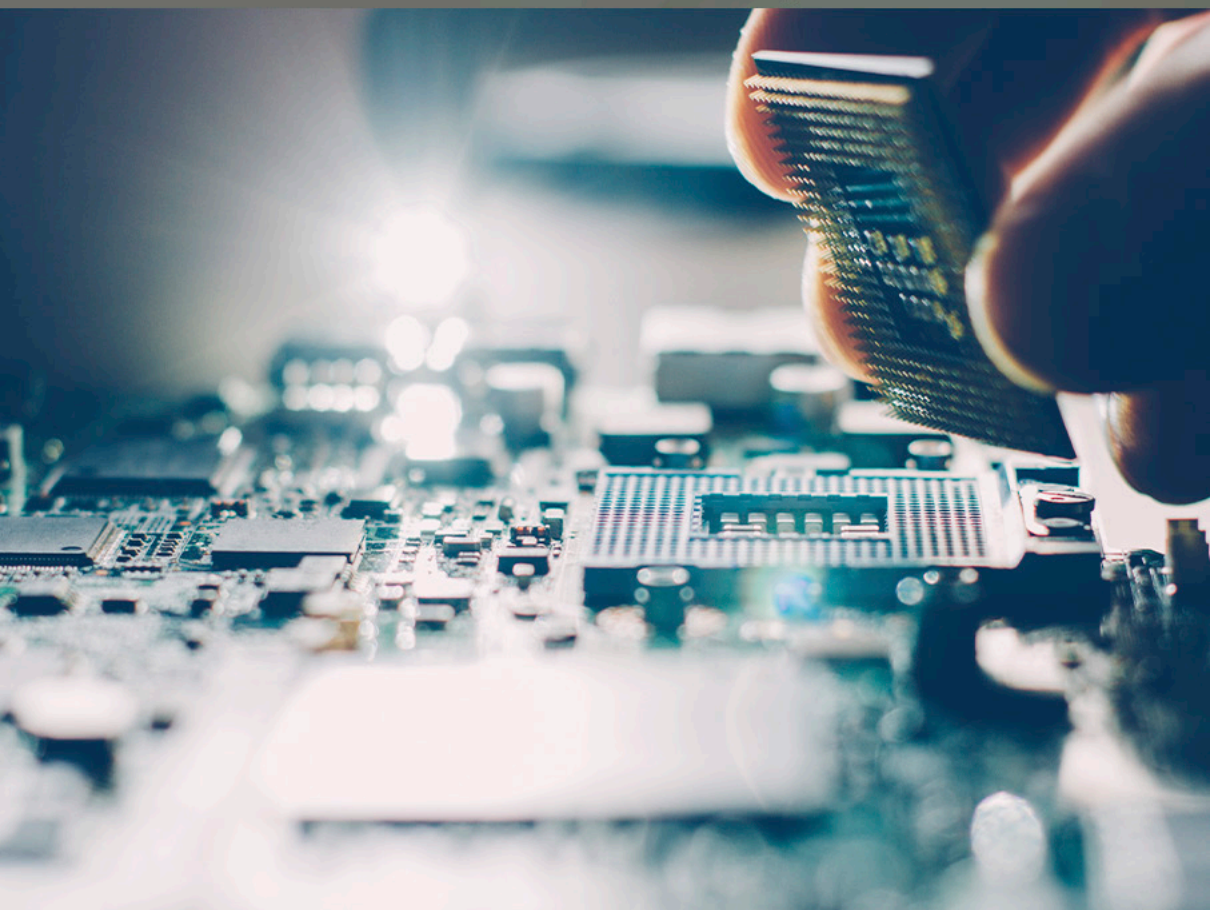


COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 4

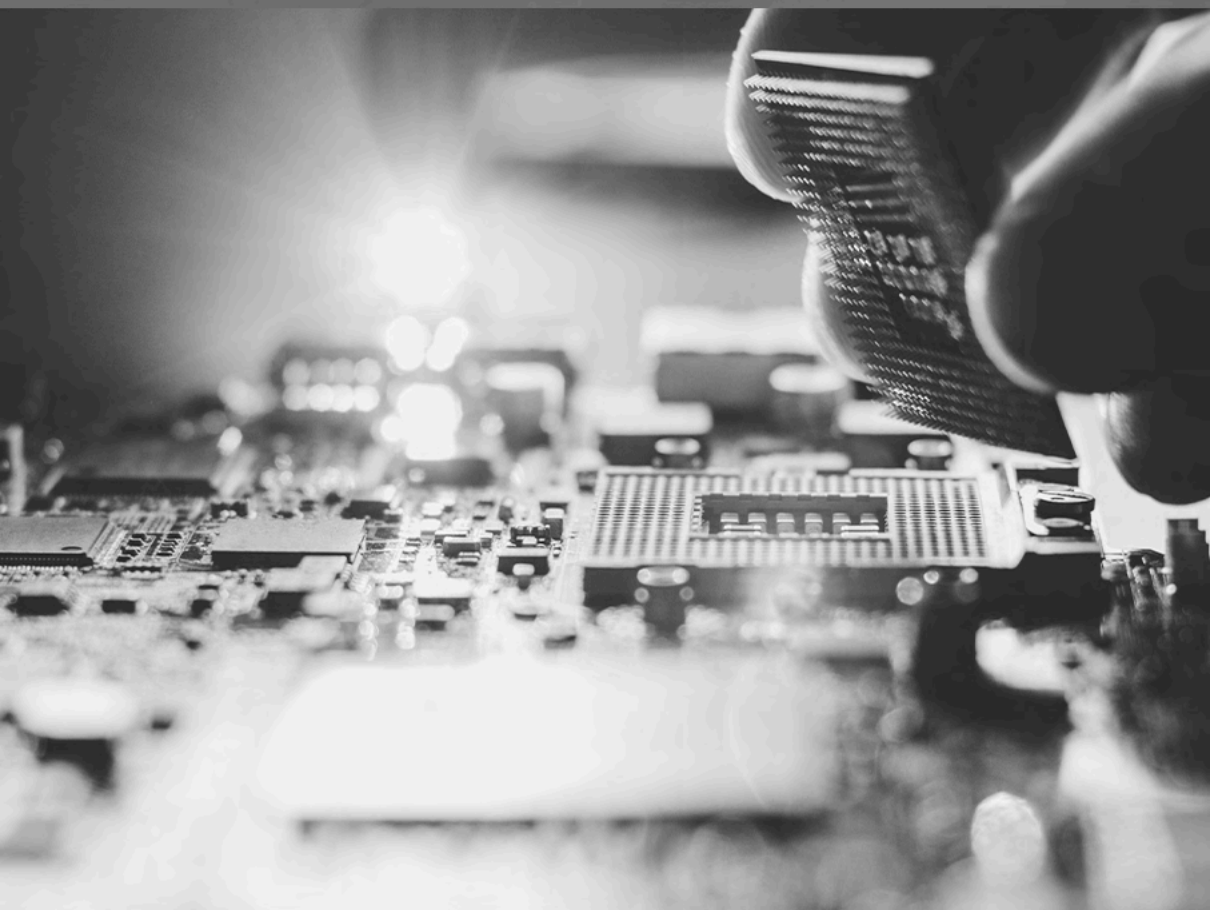


LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)


Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 4



LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação 4

Diagramação: Gabriel Motomu Teshima
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação 4 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-752-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.526211012>

1. Engenharia de computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.39

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2021

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

A Atena Editora tem a honra de presentear o público em geral com a série de *e-books* intitulada “*Coleção desafios das engenharias: Engenharia de computação 4*”. Em seu quarto volume, esta obra apresenta várias aplicações tecnológicas da Engenharia de Computação na automação industrial, na agricultura, no setor de energias renováveis, e no mercado financeiro.

Organizado em 07 capítulos, este volume objetiva facilitar a difusão do conhecimento científico produzido em várias instituições de ensino e pesquisa do país.

Dessa forma, esta obra contribuirá para aprimoramento do conhecimento de seus leitores e servirá de base referencial para futuras investigações.

Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção deste trabalho.

Boa leitura.

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1


RED NEURAL ARTIFICIAL PARA EL SEGUIMIENTO DE PLANTACIONES DE ARROZ A ALTAS TEMPERATURAS

Silvia Soledad Moreno Gutiérrez

Mónica García Munguía

Yesica Zamudio Briseño

Carlos Pérez Núñez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110121>

CAPÍTULO 2..... 10

REDES NEURAIAS USADAS NA PREVISÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Gabriel Mancini


Jose Airton Azevedo dos Santos

Hugo Andrés Ruiz Flórez

Gloria Patricia Lopez Sepúlveda

Cristiane Lionço Zeferino

Leandro Antonio Pasa


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110122>

CAPÍTULO 3..... 23

UMA APLICAÇÃO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA BASEADO EM SENSORES DE BAIXO CUSTO

Ana Carolina Mariath Magalhães Corrêa e Castro

Mário Mestría


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110123>

CAPÍTULO 4..... 35

SISTEMA ELETRÔNICO DE RECOMENDAÇÃO AGNÓSTICO E ONLINE DE APLICAÇÃO EM FUNDOS DE INVESTIMENTOS

Antonio Newton Licciardi Junior

Paulo Henrique Barros de Moura


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110124>

CAPÍTULO 5..... 57

CONTROLE ADAPTATIVO PID USADO EM DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE três GRAUS DE LIBERDADE

José Antonio Riul

Paulo Henrique de Miranda Montenegro


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110125>

CAPÍTULO 6..... 69

PROCESAMIENTO Y GRAFICACIÓN DE SEÑALES ELETROMIOGRÁFICAS CON

RASPBERRY-PI 2 PARA LA REHABILITACIÓN DE MUÑECA


Mario Alberto García Martínez
Daniel Ivann Arias Guevara
Ingrid Lizette Sánchez Carmona

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110126>

CAPÍTULO 7..... 80

COMPARAÇÃO DE APIS DE OCR PARA RECONHECIMENTO DE DÍGITOS EM IMAGENS DE MOSTRADOR DE SETE SEGMENTOS

Jonathan Ribeiro da Silva
Leandro Colombi Resendo
Jefferson Oliveira Andrade
Karin Satie Komati

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5262110127>

SOBRE A ORGANIZADORA 93

ÍNDICE REMISSIVO..... 94

CAPÍTULO 1

RED NEURAL ARTIFICIAL PARA EL SEGUIMIENTO DE PLANTACIONES DE ARROZ A ALTAS TEMPERATURAS

Data de aceite: 01/12/2021

Data de submissão: 03/09/2021

Silvia Soledad Moreno Gutiérrez

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Pachuca Hidalgo, México
<https://orcid.org/0000-0002-8957-3707>

Mónica García Munguía

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Tlahuelilpan Hidalgo, México
<https://orcid.org/0000-0002-0507-3933>

Yesica Zamudio Briseño

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Tlahuelilpan Hidalgo, México

Carlos Pérez Núñez

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Tlahuelilpan Hidalgo, México

RESUMEN: El arroz en el mundo es un cultivo básico para los seres humanos, por su alto consumo en la dieta diaria representa impacto importante para la seguridad alimentaria, por ello, es prioritario mantener niveles suficientes de producción de este cultivo, sin embargo, ante la presencia del cambio climático esta tarea es cada vez más complicada. Por lo anterior, el trabajo desarrollado consiste en una red neuronal artificial de tipo Adaline para supervisar el cultivo de arroz en dos etapas iniciales de desarrollo y predecir la presencia de anomalías ocasionadas por altas temperaturas, la red logró una precisión mayor al 97% por lo que se considera adecuada.

La propuesta ofrece al agricultor información de apoyo a la toma de decisiones y con ello a la reducción de pérdidas.

PALABRAS CLAVE: Cambio climático, cereal básico, daño a cultivo, redes neuronales artificiales.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR MONITORING RICE CULTIVATION AT HIGH TEMPERATURES

ABSTRACT: Rice in the world is a basic crop for human beings, due to its high consumption in the daily diet represents an important impact for food security, therefore, it is a priority to maintain sufficient levels of production of this crop, however, in the presence of climate change this task is increasingly complicated. Therefore, the work developed consists of an artificial neural network of the Adaline type to supervise the rice crop in two initial stages of development and predict the presence of anomalies caused by high temperatures, the network achieved a precision greater than 97%, therefore which is considered adequate. The proposal offers the farmer information to support decision-making and thereby reducing losses.

KEYWORDS: Climate change, basic cereal, crop damage, artificial neural networks.

REDE NEURAL ARTIFICIAL PARA MONITORAMENTO DO PLANTAÇÕES DE ARROZ EM ALTAS TEMPERATURAS

RESUMO: O arroz no mundo é uma cultura básica para o homem, devido ao seu alto

consumo na dieta diária representa um importante impacto na segurança alimentar, visto que é prioritário manter níveis suficientes de produção desta cultura, porém, antes do presença de mudanças climáticas esta tarefa torna-se cada vez mais complicada. Portanto, o trabalho realizado consiste em uma rede neural artificial do tipo Adalino para supervisionar o cultivo do arroz e os estágios iniciais de desenvolvimento e prever a presença de anomalias causadas por altas temperaturas, o logaritmo vermelho tem uma precisão superior a 97% mas considerada apropriado. A proposta oferece ao agricultor informações para subsidiar a tomada de decisões e auxiliar na redução de perdas.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças climáticas, cereais básicos, danos às plantações, redes neurais artificiais.

1 | INTRODUCCIÓN

En el mundo, el arroz constituye uno de los 3 cereales de mayor importancia al formar parte de la dieta básica de los seres humanos y representar más del 55 % del consumo calórico necesario. Según los pronósticos, la población será cada vez mayor al año 2050 será de 9100 millones de personas cuyas necesidades de alimentos básicos representan un incremento del 70% de la producción actual, en cuanto a requerimiento de cereal básico significará un aumento de 1000 millones de toneladas (FAO, 2016; OCDE/FAO, 2019).

El arroz es el segundo cereal más importante a nivel mundial (MINAGRI, 2009) es el alimento básico predominante en diecisiete países de Asia y el Pacífico, nueve países de América del Norte y del Sur y ocho países de África, se produce en más de 113 países, este cereal cubre 20% del suministro de energía alimentaria en el mundo (el trigo y el maíz también tienen representatividad), es alimento básico de más de la mitad de la población mundial (FAO, 2020). No obstante 90% de la producción total se realiza en países asiáticos (Tomassino, 2012), el 82% de las exportaciones a nivel global tienen como principales destinos la India, Tailandia, Vietnam, Pakistán, EE. UU y Guyana (Bernardi, 2017).

El cambio climático y sus efectos en los cultivos de arroz

Pese a la fuerte demanda de cereal en el mundo, el cambio climático (CC) hace presencia como el deterioro ambiental y el estancamiento de los rendimientos, un reto difícil de afrontar que amenaza la producción de cereales y la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2016). El CC es principalmente caracterizado por aumento en las temperaturas y aumento en la incertidumbre de las lluvias (Rajesh., 2012); ante este fenómeno, el sector agrícola es uno de los más sensibles (Moreno-Gutiérrez et al., 2018).

El arroz es cultivable en condiciones secas y húmedas, en diferentes suelos y condiciones climáticas e hidrológicas (Bijay-Singh et al., 2017), sin embargo, la planta de arroz presenta limitaciones relacionadas con su entorno ambiental para alcanzar su potencial de rendimiento (FAO., 2003).

Los factores como la temperatura, radiación solar y el viento afectan el crecimiento

de la planta y el rendimiento del grano además de los procesos fisiológicos relacionados con la formación del grano, y el desarrollo adecuado en cada una de sus etapas, las cuales son: germinación, plántula, macollaje, elongación y engrosamiento de la vaina, espigazón, floración, estado lechoso, estado pastoso del grano y madurez (FAO, 2003).

La planta durante su desarrollo responde diferente a iguales temperaturas (Vargas, 2010), las cuales inciden sobre el macollaje, la formación de espiguillas y la maduración, cuando son bajas limitan la duración del período de desarrollo y cuando son altas causan estrés térmico. La radiación solar es fuente de energía para el proceso fotosintético y es participa en la evapotranspiración, la cual es fundamental para obtener buenos rendimientos. Los vientos fuertes también son factores que tienen efecto sobre el cultivo (FAO, 2003).

Estrategias implementadas ante las adversidades ambientales

Los modelos de simulación de crecimiento de cultivos son herramientas útiles para estudiar el impacto del CC en el crecimiento y rendimiento de cultivos diversos (Moreno-Gutiérrez et al., 2018), han sido utilizados para simular y predecir cambios en la fenología del arroz y realizan análisis estadísticos (Shuai, 2012).

El alcance de estos modelos tales como CERES – RICE and CERES - Wheat, es grande, permite realizar simulaciones y estudios, todos principalmente relacionados con la predicción del rendimiento (Akinbile, 2020). El modelo ORYZA 2000 posee funciones similares al anterior y un error menor (Soundharajan y Sudheer, 2009). El CROPSYST, el SIMRIW son ejemplos de otros modelos previamente desarrollados sin resultados sobresalientes (Horie, 1993).

A diferencia de los anteriores, el desarrollo de sistemas con técnicas de inteligencia artificial desde su aparición, ha sido permanente aceptado en el sector agrícola productor de cereal por su alta precisión y ventajas relacionadas con su alto poder de generalización y manejo de incertidumbre (Moreno-Gutiérrez et al., 2018).

Algunos de estos trabajos se mencionan. Algunos autores aplicaron regresión de árboles potenciada, regresión lineal múltiple y 4 RNA (perceptrón multicapa, red neuronal probabilística (RNP), red de feed forward generalizado y red neuronal de regresión lineal) para pronosticar el rendimiento de arroz de secano ante el CC al año 2052, la RNP superó a las otras técnicas en precisión, mientras que el funcionamiento de modelos lineales fue no satisfactorio (Zhang et al., 2019).

En otro caso revisaron 20 artículos científicos orientados a la predicción de plagas y enfermedades de cultivos con aprendizaje supervisado, se identificaron tres trabajos para cereal básico: predicción de hongo en arroz con RNA y máquina de soporte vectorial (MSV), predicción de mancha en maíz con regresión logística y predicción de roya en trigo con MSV, RNA y regresión logística. Las RNA con funciones de base radial y la MSV alcanzaron mayor precisión, es decir, porcentaje de predicciones correctas respecto al total

(Corrales et al., 2015).

Una revisión de 37 trabajos basados en técnicas de soft computing, fue realizada, de los cuales cinco están orientados a cultivos de cereal. Para trigo: un sistema de inferencia adaptativa neuro-difuso para predecir el rendimiento, un sistema de LD para identificar la idoneidad de la tierra para siembra; un AG con objetos difusos para manejo de nutrientes en planificación de arroz, eficiencia de la producción de maíz con LD y análisis envolvente de datos, optimización del Nitrógeno en cultivos de arroz con RNA. Las técnicas ofrecen amplias mejoras a la agricultura de precisión (Narwal y Nehra, 2017).

Realizaron revisión bibliográfica de 100 artículos con en técnicas de IA: sistemas expertos, RNA y lógica difusa (LD) para solución de problemáticas agrícolas en los últimos 34 años, de los cuales diez trabajos están centrados en cereales. En cultivos de trigo con RNA las propuestas buscan la clasificación de semillas, reconocimiento de características, análisis de humedad de hojas y reconocimiento de imágenes; para cultivos de maíz una propuesta para determinación de nitrógeno con LD y dos para predicción de rendimiento con RNA; dos propuestas para predecir rendimiento de arroz con RNA y una para detección de hierba (Bannerjee et al., 2018).

Revisaron 23 trabajos de modelado matemático y simulación de cultivos mediante software abordando procesos fisiológicos y ecológicos del crecimiento, de los cuales dos se enfocan en cereal: uno observa la respuesta del maíz ante dosis de Nitrógeno mediante modelo discontinuo rectilíneo, otro aborda la interacción planta-ambiente-manejo de arroz, trigo y maíz con DSSAT (Rodríguez-González et al., 2018).

Otra revisión se efectuó respecto a las técnicas de aprendizaje automático en la agricultura, en total 40 trabajos de los cuales 8 abordan cereal básico, para predecir rendimiento de trigo se creó una RNA y una MSV para arroz. Para predecir enfermedades en la planta, se desarrolló una MSV para arroz, además de 4 RNA y una MSV para trigo (Konstanticon et al., 2018).

También fueron revisados 27 trabajos con RNA y aprendizaje profundo o deep learning, técnicas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático para identificar enfermedades en el cultivo, nueve de ellos abordan maíz, trigo o arroz, el deep learning resultó la técnica de mayor precisión y potencial. Los autores expresaron la necesidad de intensificar el trabajo de investigación apoyado en técnicas de IA para fortalecer cultivos de cereal básico (Sapna-Nigam et al., 2020).

En la revisión, no se observó aplicación de estas alternativas en el análisis de planta de arroz en etapas de desarrollo iniciales.

2 | METODOLOGÍA

La propuesta realizada consta de dos bloques, el primero analiza el desarrollo de la planta en la fase 1 de emergencia y el segundo analiza la fase 2 de macollaje del arroz.

En ambos casos se diseñó una red neuronal artificial (RNA), las cuales se describen a continuación.

Previo a la construcción de los modelos, se analizaron las características fenológicas de la planta de arroz, al tratarse de información primordial para la construcción de la salida esperada de la red, es decir, para hacer posible el modelado fenológico de la planta y con base en él identificar las anomalías posibles en el cultivo,

Umbral de temperatura

El cuadro 1 muestra el rango de temperatura máxima que la planta soporta, misma que, en caso de ser mayor representa un inconveniente y un momento en que la planta empieza a sufrir daño. Los datos que se describen fueron considerados para el entrenamiento de la RNA, en la identificación de posible daño.

Etapa	Temperatura máxima (°C)
Emergencia de la plántula	25 a 30 -- 33
Macollaje	25 a 31 -- 35

Tabla 1. Temperaturas. Fuente: elaboración propia con datos de FAO (2020)

Durante la etapa de germinación, la temperatura óptima es de 20 a 35 °C, durante la emergencia es de 25 a 30 °C y en el macollaje es de 25 a 31 °C.

El trabajo abordó únicamente las 2 últimas etapas de desarrollo por su alta sensibilidad ante las temperaturas altas.

Arquitectura de la RNA

En ambos casos fue aplicado el modelo Adaline con el algoritmo de aprendizaje supervisado de Widrow y Hoff. Cada caso se construyó con 2 variables de entrada, las cuales fueron temperatura media (M) y temperatura máxima (MAX). En cuanto a variables de salida, cada RNA únicamente posee una, la cual es encargada de expresar si la planta podría presentar desarrollo desfavorable en la fase 1 o en la fase 2, respectivamente. Las redes monocapa que se mencionan se expresan en la figura 1 y figura 2.

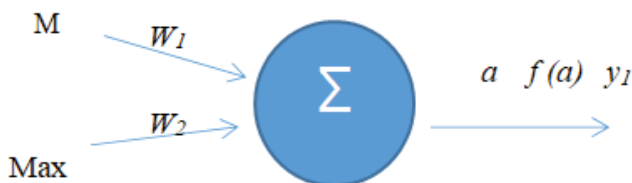


Figura 1. Fase 1. Etapa de emergencia. Elaboración propia



Figura 2. Fase 2. Etapa de macollaje. Elaboración propia

Proceso de aprendizaje o entrenamiento

Para el entrenamiento de cada RNA se utilizó un total de 11161 registros climáticos diarios que corresponden al 80% del total.

El algoritmo de Widrow y Hof aplicado se componen de los siguientes pasos:

1. Inicializar pesos (W)
2. Presentar patrón de entrada (X)
3. Calcular salida de la red (y)
4. Calcular error del patrón presentado (e)
5. Actualizar pesos
6. Repetir paso 2 al 5 para cada patrón de entrada
7. Si el error es aceptable terminar el proceso, si no, regresar al paso 2

Los cuales fueron ejecutados hasta alcanzar el nivel de error aceptable.

Validación del modelo

En cada modelo se emplearon 5554 registros climáticos diarios diferentes a los utilizados en el entrenamiento. Luego de analizar el error cercano a cero y aceptable, se consideró concluida la validación con resultados favorables, los cuales se exponen en el apartado siguiente.

Tanto la fase de entrenamiento como la de validación, se realizaron a través de código de programación desarrollado en Matlab 2017^a.

3 | COMENTARIOS FINALES

La red demostró resultados satisfactorios con los datos climáticos ingresados, demostró su capacidad de generalización al momento de validar correctamente datos diferentes a los aplicados durante el entrenamiento. Con ello, la RNA hace evidente su poder de generalización y su alta precisión (Yegnanarayana, 2009).

A continuación se expresan los hallazgos obtenidos.

4 | RESUMEN DE RESULTADOS

Como se mencionó previamente, la RNA fue validada con un total de 5554 registros climáticos recabados a través de diferentes estaciones meteorológicas ubicadas en diversos puntos y regiones del mundo.

	Registros de entrenamiento	Registros de validación	Precisión
Modelo 1	11161	5554	94.0%
Modelo 2	11161	5554	97.4%

Tabla 2. Resultados. Fuente: elaboración propia

La precisión alcanzada se consideró alta y por ello la propuesta adecuada para realizar las predicciones esperadas, de daño a la planta de arroz durante la emergencia o durante el macollaje.

5 | CONCLUSIONES

El apoyo de la tecnología al sector del cereal ante el CC, es un tema bastante estudiado como lo demuestran los trabajos disponibles que en gran medida se concentran en la predicción del rendimiento del cultivo. Al contar con información oportuna del desarrollo fenológico desde las primeras etapas del cultivo, se hace posible tomar la construcción de planes de contingencia y estrategias, así como las medidas necesarias para evitar el daño.

El uso de RNA permite a realización de análisis del desarrollo del cultivo con alta eficacia y precisión, las técnicas modernas ofrecen apoyo al sector productor de cereal y son aceptadas, su uso es cada vez más frecuente para afrontar el CC en cultivos de arroz.

Por sus resultados de validación, la propuesta es adecuada para monitorear la etapa de emergencia y macollaje del cultivo de arroz, y predecir daños posibles derivados de las altas temperaturas, derivadas en las últimas décadas por la presencia del CC.

REFERENCIAS

AKINBILE, C. O. **Crop water requirements, biomass and grain yields estimation for upland rice using CROPWAT, AQUACROP and CERES simulation models.** Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 22: 1-20. 2020.

BANNERJEE G., U. SARKAR, S. DAS, y GHOSH. **Artificial Intelligence in Agriculture: A Literature Survey.** International Journal of Scientific Research in Computer Science Applications and Management Studies. v. 7: p.1-6. 2018.

BIJAY-SINGH and V.K. SING. **Fertilizer Management in Rice.** En B.-S. a. Sing. Rice Production

WorldWide. 2017.

Sapna-Nigam et al. (2020), F. FERNÁNDEZ, J. LIMA, R. MATEO, H. ROEL, A. **Estudio de la temperatura base, grados día acumulados y su validación en diferentes cultivares de arroz.** Asociación Cultivadores de Arroz del Uruguay. 1999.

CORRALES, D. C., CORRALES, J. C. and FIGUEROA-CASAS, A. Towards detecting crop diseases and pest by supervised learning. Ingeniería y Universidad 19: 207-228. 2015.

FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. **Guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. Comisión internacional del arroz.** Obtenido de guía para identificar las limitaciones de campo en la producción de arroz. 2003.

FAO - Organización de las Naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación. **Ahorrar para crecer en la práctica. Maíz, trigo y arroz. Guía para la producción sostenible de cereales.** 2016. Obtenida de <http://www.fao.org/3/a-i4009s.pdf>. Consultada en Enero 2020.

FAO - Organización de las Naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación). **AquaCrop el modelo de productividad del agua de los cultivos.** 2020. Obtenida de <http://www.fao.org/aquacrop>.

HORIE, T. **Predicting the effects of climatic variation and elevated Co2 on rice field in japan.** Journal of Agricultural Meteorology. p.567-574. 1993.

HUSSAIN-SHARIFI R. J. HIJMANS, J. E. **Using Stage-Dependent Temperature Parameters to Improve Phenological Model Prediction Accuracy in Rice Models.** Crop Science Society of America , p.1-10. 2016.

LAL,K.K. SINGH, L.S. RATHORE, G. SRINIVASAN, S.A. SASEENDRAN. **Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate.** ELSEVIER, v. 15. 1996.

MORENO-GUTIERREZ, S. S. PALACION, A. RUIZ-VANOYE, J. A. y LOPEZ, P. **Sustainable and technological strategies for basic cereal crops in the face of climate change: A literature review.** African Journal of Agricultural Research, v.13, n. 5, p. 220-227.

NARWAL S., y V. NEHRA. **A Survey on usage of Soft Computing Techniques in Crop Production.** SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science (SSRG-IJAES), v. 4 n. 2. 2017.

OCDE/FAO, OECD - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. **OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028.** Roma. 2019. Obtenida de <https://doi.org/10.1787/7b2e8ba3-es>. Consultada en Junio 2020.

RAJESH KUMAR MAIL, P.K. AGGARWAL. **Climate change and rice yields in diverse agro-environmentsof india. I. Evaluationof impact assessmentmodels.** Research Gate, 17. 2012.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ O., R. FLORIDO-BACALLAO Y M. VARELA-NUALLES. **Aplicaciones de la modelación matemática y la simulación de cultivos agrícolas en Cuba.** Cultivos Tropicales v.39: p.121-126. 2018.

SAPNA-NIGAM AND RAJNI-JAIN. **Plant disease identification using Deep Learning: A review.**

Indian Journal of Agricultural Sciences v.90. p. 249–57.2020.

SHUAI, Z. FULU, T. Modeling the response of rice phenology to climate change and variability in different climatic zones: Comparisons of five models. ELSEVIER. 2012.

SINGH, V A. K.. GOYAL, A. K. MISHRA AND S. S. PARIHAR. **Validation of CropSyst simulation model for direct seeded rice–wheat cropping system**. Current science. 2003.

SOUNDLHARAJAN, B.S. SUDHEER, K.P. **Deficit irrigation management for rice using crop growth simulation model in an optimization framework**. Paddy and Water Environment. 2009.

TOMMASINO, H. **El Mercado del arroz en los países del CAS**. 2012. Obtenido de agroindustria. gob: https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/regionales/_archivos/000030_Informes/000020_Arroz/000020_El%20mercado%20del%20arroz%20en%20los%20países%20del%20CAS.pdf

VARGAS, J. **El arroz y su medio ambiente**. En J. P. Vargas, Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. 2010.

YEGNANARAYANA, B. **Artificial neural networks**. PHI Learning Pvt. Ltd. 2009.

ZHANG, L., TRAORE, S., GE, J., LI, Y., WANG, S., ZHU, G.,... AND FIPPS, G. **Using boosted tree regression and artificial neural networks to forecast upland rice yield under climate change in Sahel**. Computers and Electronics in Agriculture, 166, 105031. 2019.

CAPÍTULO 2

REDES NEURAIS USADAS NA PREVISÃO DE CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

Data de aceite: 01/12/2021

Gabriel Mancini

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR
Medianeira – PR
<http://lattes.cnpq.br/3923574181707452>

Jose Airton Azevedo dos Santos

Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR
Medianeira – PR
<http://lattes.cnpq.br/1208427854093144>

Hugo Andrés Ruiz Flórez

Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR
Medianeira – PR
<http://lattes.cnpq.br/1231733785708599>

Gloria Patricia Lopez Sepúlveda

Faculdade de Ensino Superior de São Miguel
do Iguaçu - Uniguaçu
São Miguel do Iguaçu – PR
<http://lattes.cnpq.br/8402032745107959>

Cristiane Lionço Zeferino

Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR
Medianeira – PR
<http://lattes.cnpq.br/0915594224998333>

Leandro Antonio Pasa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR
Medianeira – PR
<http://lattes.cnpq.br/4095187669845473>

RESUMO: Os sistemas convencionais de fornecimento de energia elétrica, não são sempre a melhor opção para satisfazer as necessidades atuais dos consumidores, por isso, existe a necessidade de realizar pesquisas envolvendo a utilização de fontes alternativas de energia, dentre elas, a geração de energia solar fotovoltaica. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo implementar modelos de Redes Neurais Artificiais, baseados em resultados obtidos de um modelo matemático computacional, usado para prever as curvas características de um painel fotovoltaico. Os resultados obtidos neste trabalho indicam que as curvas características construídas, por meio de Redes Neurais Artificiais são similares às curvas geradas pelo modelo computacional.

PALAVRAS-CHAVE: Fontes Alternativas de Energia, Energia Solar Fotovoltaica, Modelo Computacional, Redes Neurais Artificiais.

USE OF NEURAL NETWORKS FOR PREDICTION OF CHARACTERISTIC CURVES OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM

ABSTRACT: Conventional electricity supply systems are not always the best option to satisfy the customer load requirements. Hence, there is a need to develop new studies involving the use of alternative energy sources, such as, solar photovoltaic energy generation. In this context, the present work seeks to implement models of Artificial Neural Networks based on results obtained from a computational model, used to predict the characteristic curves of a photovoltaic panel. The results obtained in this work indicate

that the characteristic curves constructed by the Artificial Neural Networks are similar to the curves generated by the computational model.

KEYWORDS: Alternative Energy Sources, Solar Photovoltaic Energy, Computational Model, Artificial Neural Networks.

1 | INTRODUÇÃO

A demanda por energia vem crescendo continuamente. Contudo, para o atendimento desta demanda, deve-se levar em consideração os efeitos negativos associados ao aumento do uso de energias não renováveis. A energia solar, alternativa ao uso destas energias, é uma energia abundante, não poluente e dispersa, o que possibilita sua utilização em locais em que não existe concorrência com fontes convencionais (SANTOS; MICHELS, 2011).

Como exemplo de fontes não renováveis de energia pode-se citar as usinas termoelétricas. Estas usinas utilizam, para produção de energia, carvão, óleo ou gás. Segundo Foster et al. (2009) contribuem para o efeito estufa, aquecimento global e para catástrofes climáticas.

O protocolo de Kyoto, cujo objetivo é fazer com que os países, que participam de tal acordo, reduzam as emissões de gases que causam o efeito estufa, é uma forma de se sugerir a utilização de fontes não poluidoras do meio ambiente, tais como, eólica, geotérmica, solar, dentre outras (ANDRADE; COSTA, 2008).

O Brasil está situado em uma zona tropical, apresenta alta incidência de radiação solar, o que torna viável o desenvolvimento de tecnologias capazes de transformar a energia solar em energia térmica, elétrica, química, mecânicas e outras (CAMARGO, 2015; PETRY et al., 2020; VICHI, 2009).

Segundo Gasparin (2009), a determinação das curvas características é essencial para determinação da qualidade dos dispositivos fotovoltaicos, além de fornecer parâmetros para dimensionamento e estimativa da geração de eletricidade.

Redes Neurais Artificiais (RNA) estão sendo aplicadas em várias áreas, tais como medicina, engenharia, física, etc. São modelos matemáticos que se assemelham às estruturas neurais biológicas e que têm capacidade computacional adquirida por meio de aprendizagem e generalização. Estes modelos utilizam, no processamento de informações, o princípio de organização de neurônios do cérebro. As redes neurais podem ser aplicadas em problemas de regressão, classificação e compactação de dados (HAYKINS, 2001; BASTIANI et. al, 2018; PINHEIRO et al, 2020).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo implementar modelos de Redes Neurais Artificiais, baseadas em resultados obtidos de um modelo computacional, para prever as curvas características de um painel fotovoltaico localizado na região oeste paranaense.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O sistema fotovoltaico (Figura 1) foi montado nas dependências da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) na cidade de Medianeira. Medianeira está localizada na Região Oeste Paranaense com 25° 17' 43" latitude Sul, 54° 05' 38" longitude Oeste e apresenta uma altitude de 500,7 metros. O sistema fotovoltaico foi instalado com dois painéis de 5 módulos. Sendo utilizado apenas dois módulos, ligados em série devido à configuração do sistema. Os equipamentos, utilizados no sistema fotovoltaico, são apresentados na Tabela 1.

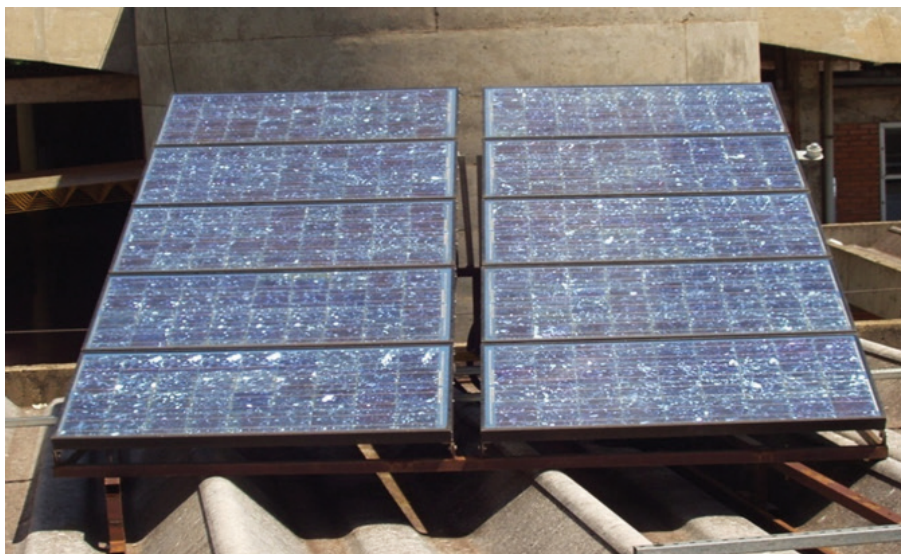


Figura 1 – Sistema Fotovoltaico

Fonte: Michels (2007)

Equipamento	Fabricante	Modelo
Painel Solar	Solarex	MSX 56
Micrologger	Campbel	CD23X
Termopar	-	K
Piranômetro	Kipp&Zonen	CM3

Fonte: Adaptada de Michels (2007)

Tabela 1 – Equipamentos

O sistema de aquisição de dados foi constituído por um “micrologger” da CAMPBELL SCIENTIFIC-INC, programado para realizar uma leitura por segundo de cada canal e armazenar: a média aritmética de cada minuto dos dados das componentes de irradiação

global na mesma inclinação do painel; a temperatura de operação do painel e a tensão e corrente do sistema fotovoltaico (MICHELS, 2007).

Os dados de temperatura de operação do painel fotovoltaico foram obtidos por um termopar do tipo K, instalado na parte de trás do mesmo (medida de temperatura do painel). Os valores de irradiação global foram obtidos por meio de um piranômetro KIPP & ZONEN (Figura 2).



Figura 2. Piranômetro

Fonte: Michels (2007)

2.1 Modelo computacional

O modelo computacional, implementado neste trabalho para descrever a célula solar, foi baseado no circuito equivalente do modelo de 1 diodo (Figura 3) (BELARBI et al., 2013).

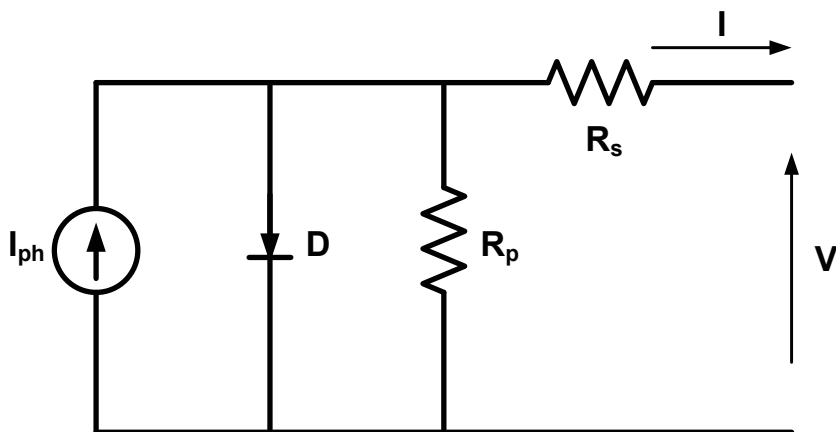


Figura 3. Modelo de um diodo

Fonte: Surichaqui et al. (2015).

Neste modelo a relação entre a tensão (V) e a corrente (I) é dada por:

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\left(\frac{q(V + R_s I)}{\alpha k T} \right)} - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (1)$$

Onde:

- é a resistência série da célula (Ω);
- é a resistência *shunt* (Ω);
- é o parâmetro do diodo ($\alpha \approx 1.2$);
- é a temperatura da célula (K);
- é a carga de um elétron ($1.602 \times 10^{-19} C$);
- é a constante de Boltzmann ($1.3854 \times 10^{-23} JK^{-1}$);
- é a corrente gerada pela radiação luminosa (A);
- é a corrente de saturação (A).

Para resolução da Eq.(1) deve-se determinar os parâmetros I_{ph} , I_s , R_s e R_p a partir de dados de catálogos, fornecidos pelos fabricantes dos módulos. Sendo, geralmente: tensão de circuito aberto (V_{oc}); corrente de curto-circuito (I_{sc}); tensão no ponto de máxima potência (V_{MP}) e corrente no ponto de máxima potência (I_{MP}). Para maiores detalhes da modelagem matemática destes parâmetros, ver Belarbi et al. (2013).

2.2 Redes neurais artificiais

Os dados gerados, pelo modelo computacional, são utilizados para o treinamento das Redes Neurais Artificiais. Na Figura 4 apresentam-se os vetores utilizados para

armazenar os dados de entrada e saída da rede. Observa-se que, neste trabalho, utiliza-se aprendizagem supervisionada. Na aprendizagem supervisionada indica-se a resposta desejada para o padrão de entrada. Grifado em vermelho tem-se os vetores de entrada (Temperatura e Irradiância) e de saída, em amarelo, (Corrente e Tensão). Observa-se também que, como vetor de entrada, tem-se também o vetor de teste. Utilizado para testar os resultados obtidos das Redes Neurais Artificiais.

```
input_treinamento = [T(1:200) ; G(1:200)]
input_teste = [T(150:200) ; G(150:200)]
```

```
output_treinoC = dados_C(1:150)
output_treinoT = dados_T(1:150)
```

Figura 4. Vetores para treinamento e teste das Redes Neurais

Fonte: Autoria própria

Neste trabalho foram treinadas duas Redes Neurais Artificiais: *network1* e *network2*. Com saídas de Corrente (*network1*) e Tensão (*network2*), como mostrado na Figura 5.

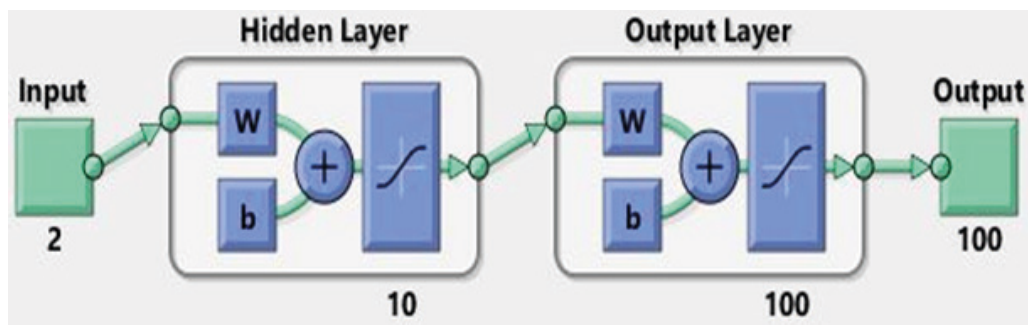


Figura 5. Arquitetura das redes

Fonte: Autoria própria.

Observa-se, da arquitetura apresentada na Figura 5, que as redes apresentam duas entradas e cem saídas. O número de neurônios, da camada oculta, foi igual a dez e a função de ativação utilizada foi a TANSIG.

2.3 Métricas

As métricas utilizadas, neste trabalho, para avaliar a performance da rede neural

foram (CANKURT; SUBASI, 2015):

Correlation Coefficient (R): Mede o grau de associação linear entre os dados previstos e observados. Quanto maior, mais explicativo é o modelo. O coeficiente de correlação é um indicador relativo do grau de ajustamento para modelos não lineares, com amplitude entre -1 e 1, e quanto mais próximo de 1 melhor é o ajuste.

Mean Squared Error (MSE): É uma forma de avaliar a diferença entre um estimador e o verdadeiro valor da quantidade estimada.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos do modelo computacional, implementado neste trabalho, e das redes neurais artificiais construídas por meio dos conjuntos de dados gerados por este modelo.

3.1 Resultados do Modelo computacional

A Figura 6 apresenta as curvas da corrente em função da tensão ($I \times V$) e da potência em função da tensão ($P \times V$), obtidas em campo na cidade de Medianeira/PR, para uma temperatura $T = 35^\circ C$ e uma irradiação $G = 1000 Wm^2$.

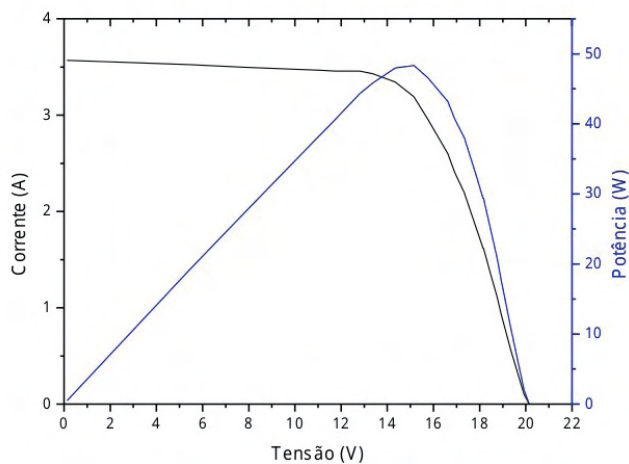


Figura 6. Curvas reais

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 7 têm-se as curvas ($I \times V$) e ($P \times V$), obtidas de simulação através do modelo proposto por Belarbi (2013), implementado neste trabalho, para os mesmos valores de temperatura e irradiação solar.

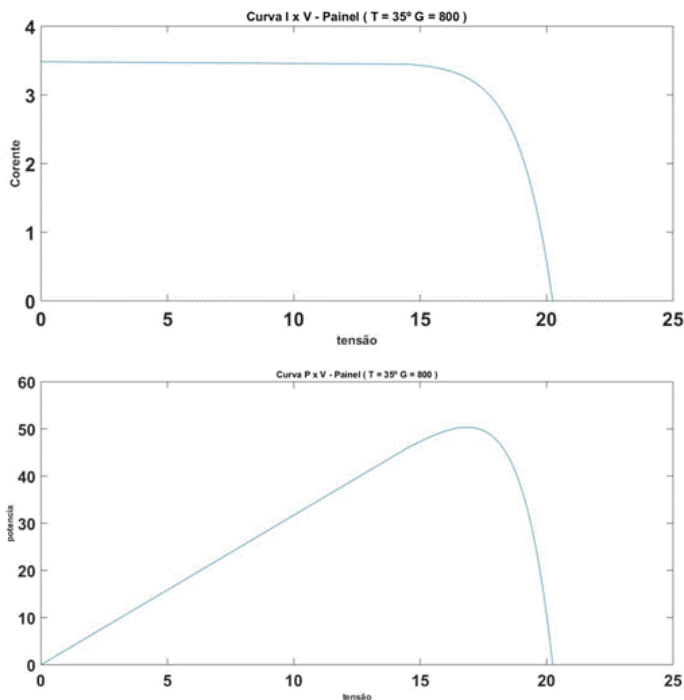


Figura 7. Curvas geradas pelo modelo

Fonte: Autoria própria

Observa-se, por meio dos gráficos apresentados nas Figuras 6 e 7, que as curvas obtidas de simulação, para as condições avaliadas neste trabalho, apresentam similaridades com as curvas obtidas em campo.

3.2 Redes neurais artificiais - Resultados

Na Tabela 1 apresentam-se as correlações (R), entre os valores previstos e observados, para os conjuntos de treinamento, validação e teste para as duas redes neurais analisadas.

R	Treinamento	Validação	Teste
<i>Network1</i>	0.954	0.964	0.965
<i>Network2</i>	0.982	0.988	0.989

Tabela 1. Correlação – treinamento, validação e teste

Fonte: Autoria própria

Pode-se observar da Tabela 1 que coeficientes de correlação estão acima de 95%, portanto existe um bom ajuste das redes para as etapas de treinamento, validação e teste.

O gráfico, na Figura 8, mostra as medidas do erro médio (*Mean Square Error*) ao longo das iterações (*Epochs*) durante o treino das redes *network1* (937 *epochs*) e *network2* (768 *epochs*). É possível identificar que o erro médio dos dados de treino, validação e teste tem uma boa convergência para as redes, indicando que o conhecimento é transmitido gradativamente às RNAs ao longo do treinamento.

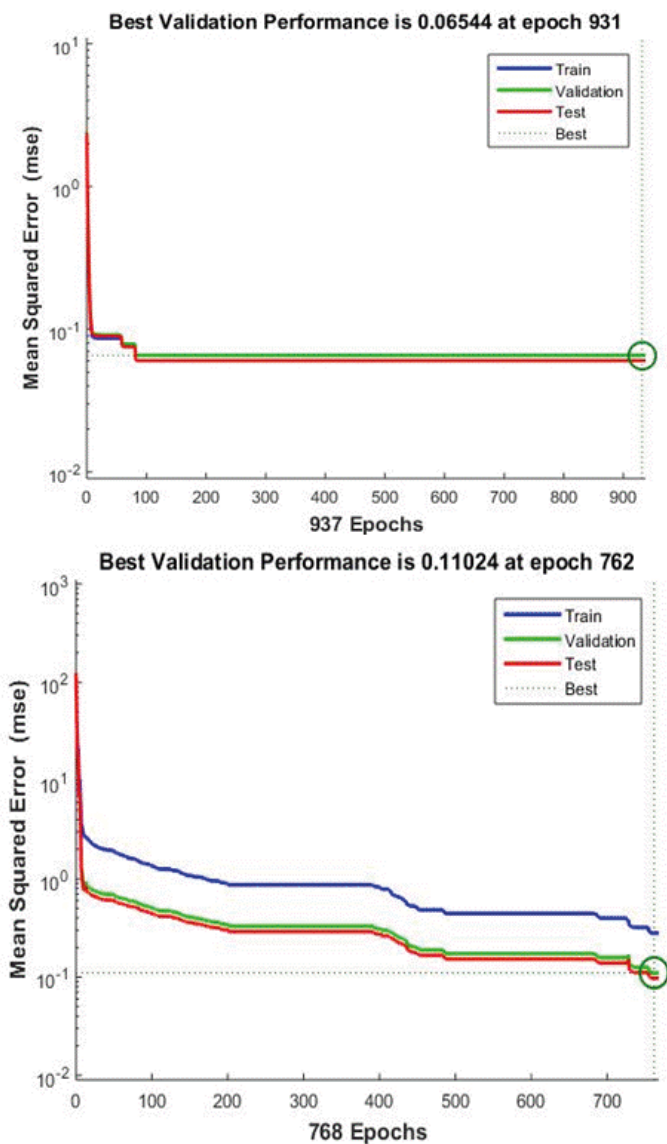


Figura 8. Performance das redes

Fonte: Autoria própria

Nas Figuras 9 e 10 apresentam-se as comparações entre as curvas I x V e P x V geradas pelo modelo computacional e pelas Redes Neurais Artificiais, para as temperaturas de 27.38, 30.80, 34.22 e 38.06 °C e irradiâncias de 700, 715, 729, 745 e 762 Wm^2 .

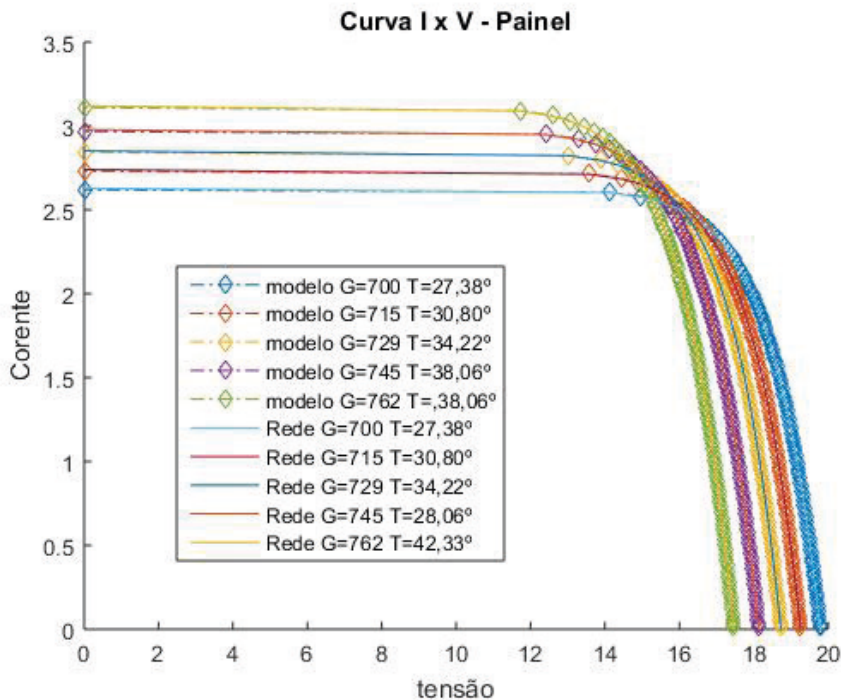


Figura 9. Curvas – Modelos e Redes Neurais

Fonte: Autoria própria

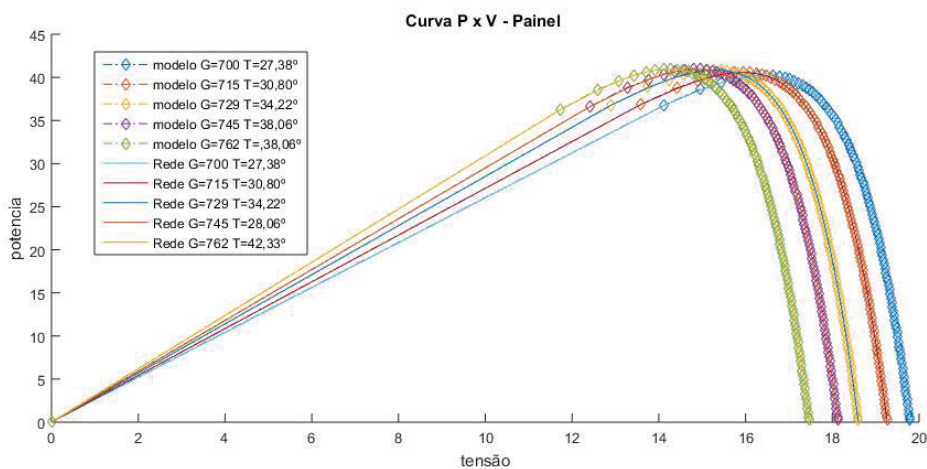


Figura 10. Curvas P x V – Modelos e Redes Neurais

Fonte: Autoria própria

Observa-se, dos gráficos apresentados nas Figuras 9 e 10, que existem grandes similaridades, para várias temperaturas e irradiações, entre as curvas características geradas pelo modelo computacional e pelas redes neurais. Portanto, a proximidade entre valores preditos e obtidos do modelo computacional demonstram a boa capacidade de generalização das redes neurais implementadas neste trabalho.

4 | CONCLUSÕES

Um módulo fotovoltaico não é uma fonte linear de potência, depende da temperatura e do nível de radiação. A radiação solar e a temperatura ambiente determinam o ponto de operação para o módulo, sendo assim, há necessidade de conhecer o comportamento de operação do painel.

Neste contexto, implementou-se, no software MATLAB, um modelo de um gerador fotovoltaico para simular o comportamento de um painel policristalino da marca solarex. Observou-se, no processo de validação do modelo, uma boa aproximação entre os resultados obtidos de campo com os resultados gerados pelo modelo computacional.

Na sequência, com as variáveis obtidas do modelo do gerador, construíram-se dois modelos baseados em Redes Neurais Artificiais. Encontrou-se para estes dois modelos, nas etapas de treinamento, validação e teste, uma boa correlação entre valores preditos e observados.

Observou-se, também, que as curvas características construídas por meio destes modelos de redes neurais apresentam uma boa similaridade com as curvas geradas pelo modelo do gerador fotovoltaico.

De modo geral, pode-se concluir com este estudo, que os resultados, obtidos pelas redes neurais artificiais implementadas neste trabalho, apresentaram um bom desempenho na construção de curvas características de um painel fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. C.; COSTA, P. Mudança climática, protocolo de Kyoto e Mercado de créditos de carbono: desafios à governança ambiental global. **Organ. Soc. [online]**, v. 15, 2008.

BASTIANI, M.; SANTOS, J. A. A.; SCHMIDT, C. A. P.; SEPULVEDA, G. P. L. Application of data mining algorithms in the management of the broiler production. **Revista Geintec**, v. 8, 2018.

BELARBI, M.; BELARBI, E.; HADDOUCHE, K. A new algorithm of a photovoltaic solar panel. **Journal of electrical Engineering & Computer Sciences**, v. 24, 2013.

CANKURT, S.; SUBASI, A. Comparasion of linear regression and neural network models forecasting tourist arrivals to turkey. **Eurasian Journal of Science & Engineering**, 2015.

CAMARGO, F. Desafios e oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas. São Paulo: Supernova Design, 2015

FOSTER, R; GHASSEMI, M.; COTA, A. **Solar energy: renewable energy and the environment**. New York: CRC Press, 2009.

GASPARIN, F. P. Desenvolvimento de um traçador de curvas características de módulos fotovoltaicos. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

HAYKIN, S. **Redes-Neurais, Princípios-e-prática**. New York: Bookman;2001

MICHELS, R. N. Avaliação de um Sistema de bombeamento de água alimentado por painéis fotovoltaicos. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

PETRY, P. M.; RAMOS, K. N.; COSTA, H. K. M. A expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil e o desenvolvimento local: uma proposição de abordagem. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 2020.

PINHEIRO, T. C.; SANTOS, J. A. A.; PASA, L. A. Gestão da produção de frangos de corte por meio de redes neurais artificiais. **Revista Holos**, v. 2, 2020.

SANTOS, J. A. A.; MICHELS, R. N. Influência de fatores ambientais sobre o desempenho de um sistema de bombeamento fotovoltaico: um estudo de caso. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, 2011.

SURICHAQUI, R. C.; FROTA, M. N.; TICONA, E. M. Impacto do sombreamento parcial na conversão fotovoltaica: experimentos e simulação. In: Congresso Brasileiro de Metrologia, Anais... Bento Gonçalves, RS, 2015.

VICHI, F. M. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, v. 32, 2009.

UMA APLICAÇÃO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA BASEADO EM SENSORES DE BAIXO CUSTO

Data de aceite: 01/12/2021

Data de submissão: 30/08/2021

Ana Carolina Mariath Magalhães Corrêa e Castro

Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória
Vitória – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/4360010832800294>

Mário Mestria

Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vitória
Vitória – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/5866381928751063>

RESUMO: O controle de temperatura torna-se cada vez mais necessário, seja em ambientes industriais, comerciais ou residenciais. Com o avanço do desenvolvimento tecnológico, a necessidade de evolução dos controles de processos produtivos de diversos setores tornou necessária a criação de aplicativos e uso de dispositivos móveis para interação com esses processos. Para tanto, esse trabalho traz uma proposta de um sistema para monitoramento e controle da temperatura em um ambiente, via comunicação sem fio e com visualização em uma interface de aplicativo móvel, desenvolvida no ambiente de programação *MIT App Inventor* (Aplicativo para Android do MIT - *Massachusetts Institute of Technology*). Os dados de temperatura são verificados a partir de um sensor de temperatura DHT11 com

comunicação por meio de um módulo *bluetooth* HC-05, ambos conectados à uma placa de desenvolvimento Arduino. Dado a robustez do sistema desenvolvido nas respostas aos *inputs/outputs*, o projeto tornou-se uma alternativa para o controle de temperatura, devido a facilidade de uso da interface e do baixo-custo.

PALAVRAS-CHAVE: Controle de temperatura. Inovação. Aplicativo. Placa de desenvolvimento. Comunicação sem fio.

AN APPLICATION FOR TEMPERATURE CONTROL BASED ON LOW-COST SENSORS

ABSTRACT: Temperature control becomes increasingly necessary with each day, be it in industrial, commercial or residential environments. With the technological development, the need to advance by production processes of various fields made necessary the development of applications and the use of mobile devices in the interaction with these processes. Therefore, this paper proposes temperature monitoring of an environment, via bluetooth wireless communication and with interface display on a mobile application, developed in MIT App Inventor. A DHT11 temperature sensor collects data, and the wireless communication is through a HC-05 module, both connected to the development board Arduino. Given the robustness of the system, due to inputs/outputs response, this project is a low-cost and advantageous alternative to temperature control.

KEYWORDS: Temperature control. Innovative. Application. Development board. Wireless communication.

1 | INTRODUÇÃO

Nos ambientes residenciais e comerciais, nos processos físicos e químicos nas indústrias e na cadeia logística, dentre outros ambientes, a temperatura tem grande influência e pode determinar a qualidade dos produtos e dos meios. Controle de temperatura tem sido amplamente aplicado no transporte de produtos médicos, armazenamento de tecidos vivos e transfusões de sangue (LIU *et al.*, 2016). No trabalho de Subahi e Bouazza (2020) foi desenvolvido um sistema de monitoramento do ambiente de uma estufa para controlar a temperatura interna de forma a reduzir a energia consumida, mantendo boas condições que melhoram a produtividade. Os fundamentos para usar sistemas de controle de temperatura vão desde as aplicações nos setores industriais que necessitam melhorar a produtividade, evitar alertas instantâneos por sensores e criar transparências nas cadeias de abastecimentos, até nos setores de serviços que precisam manter *compliances* e qualidade.

O estudo de um caso do setor industrial de produção de aço apresentou a necessidade do controle de temperatura ambiente e de procedimentos específicos. Segundo a ArcelorMittal (2020), em laboratórios, onde são realizadas análises químicas e de propriedades mecânicas, o controle de temperatura permite a padronização dos resultados. Além disso, a empresa relatou que a manipulação da temperatura do processo de fusão e solidificação do aço, implica no controle do consumo de energia e dos desgastes dos equipamentos (ARCELORMITTAL, 2020).

Em contato com o setor industrial metalúrgico descrito no parágrafo anterior, foi informado ainda que são utilizados: sistemas mecânicos, elétricos e eletrônicos para a administração dos processos; são aplicados nessa indústria: sensores como termopar de contato, termômetro infravermelho, pirômetro de contato e termômetros digitais ou analógicos; e a eficiência desses métodos de controle pode ser comprometida em casos de grandes demandas do produto, ou a movimentação específica de um processo.

Para acompanhar o desenvolvimento tornou-se necessária a criação de aplicativos móveis. De forma simples, uma aplicação móvel é um *software* criado com a finalidade de entreter, facilitar e ou conectar o usuário, sendo uma plataforma intuitiva e de fácil acesso. Podendo ser utilizada em diversos tipos de dispositivos, como por exemplo, *smartphones* e *tablets* Android e iOS, e *smartTVs*, esses *softwares* auxiliam os usuários. Tendo em vista os benefícios dessa comunicação sem fio, a possibilidade de uma aplicação móvel para o controle de temperatura torna-se uma alternativa. A correspondência de dados pode ser feita de diversas formas, através de rádios, satélites, microondas, infravermelho, 4G, 5G, Wi-fi e *bluetooth*. Esse último é um tipo de comunicação sem fio que transmite os dados desejados entre os dispositivos, desde que a distância entre eles seja curta, ou seja, é dependente da proximidade dos aparelhos. O uso de aplicativos em dispositivos móveis com conexão sem fio via *bluetooth* oferece oportunidades em diversas áreas. Desta forma,

desenvolver aplicações com uso de dispositivos móveis torna-se uma oportunidade para resolver problemas nas indústrias, no transporte, na logística, nas gestões financeiras, nos negócios e em atividades relacionadas à saúde (PINEM *et al.*, 2020).

De acordo com o trabalho de Choab *et al.* (2019), o sistema de controle e monitoramento de casas são de baixo custo e flexíveis, utilizando um servidor de *microweb*, conectividade IP (*Internet Protocol*) para acessar e controlar os dispositivos remotamente com *smartphone* Android. Bem como no trabalho de Sawidin, Pongoh e Ramschie (2018), em que o controle de temperatura e umidade do ambiente é feito por meio de um microcontrolador controlado também por um *smartphone* Android.

Segundo Ciriello, Richter e Schwabe (2018), tecnologias digitais contribuem para transformar a sociedade e a economia, de forma que elas são o resultado e a base para o desenvolvimento de inovações digitais; para tanto os resultados de inovação digital são elaborados através de inovação distribuída, combinada e ou plataformas tecnológicas digitais. Deste modo, inovação combinatória significa que novas soluções tecnológicas são construídas a partir da combinação de elementos com características digitais, ou módulos tecnológicos diferentes com o mesmo padrão; assim, diversos ramos de desenvolvimento digital inovativo podem surgir (CIRIELLO, RICHTER, SCHWABE, 2018).

O projeto tem como potencial de inovação uma solução abrangente e aberta a melhorias, ou seja, é um trabalho de inovação combinatória visto que visa o desenvolvimento de tecnologias que já atingiram o estágio de solução dominante, porém por meio de recombinações abrange diversas áreas na indústria, comércio ou serviços. O objetivo do trabalho é controlar a temperatura de sistemas de refrigeração usando uma interface amigável que monitora em tempo real o estado corrente de temperatura. Também tem como finalidade a implementação do controle de temperatura através de um sistema de ventilação simples, que será acionado de acordo com a temperatura captada. Assim, tem-se um sistema mais completo, onde a temperatura é controlada através de uma interface acessível e monitorada em tempo real. Esse trabalho utilizará comunicação sem fio, aplicativo móvel e é de baixo custo.

O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 descreve a metodologia do sistema proposto, a seção 3 apresenta os resultados e discussões e na última seção concluem o trabalho com as opções para melhorias futuras.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A proposta da pesquisa vem a ser o controle de temperatura com uso de aplicativo móvel, utilização de placas de desenvolvimento e comunicação via Bluetooth (MON, 2015). A programação utiliza Arduino e sua IDE (Integrated Development Environment), um software livre regido num projeto *copyleft* (McROBERTS 2011). Utilizaremos ainda, o ambiente de programação *MIT App Inventor*, em sua tradução Inventor de Aplicativo para

Android do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), para desenvolver a interface no aplicativo móvel.

2.1 HARDWARE

A fim de elaborar um projeto físico, foi necessário fazer a montagem dos componentes, tendo como elementos principais o sensor de temperatura e umidade DHT11, módulo *bluetooth* HC-05 e Arduino Uno, cujas especificações dos primeiros são apresentadas nas Tabelas 1 e 2 respectivamente. Ademais, foram necessários outros componentes para compor o circuito, tais como um *cooler*, um resistor de 10 K Ω , um resistor de 1 K Ω , diodo 1N4007, transistor NPN TIP122, dissipador, garras jacaré e os jumpers macho-macho.

Especificações	Valores
Dimensões	23mm x 12mm x 5mm
Alimentação	3,0 a 5,0 VDC
Corrente	200uA a 500mA
Tempo de resposta	< 5s
Faixa de medição de umidade	20 a 90% UR
Faixa de medição de temperatura	0° a 50°C
Precisão de medição de umidade	$\pm 5,0\%$ UR
Precisão de medição de temperatura	$\pm 2,0^\circ\text{C}$

Tabela 1– Especificações do sensor de temperatura e umidade DHT11.

Fonte: Autores (2021).

O sensor DHT11 descrito acima na Tabela 1 tem como característica principal a captação da temperatura, porém também é equipado para medição da umidade do mesmo ambiente. A placa de desenvolvimento Arduino Uno SMD utiliza um módulo ATmega328, e a estrutura de suas portas permite a utilização da conexão de jumpers com sensores, características que contribuíram para a escolha do componente neste projeto. Na Tabela 2 a seguir, há as especificações do módulo *bluetooth* utilizado no projeto, bem como o seu alcance, ou seja, a proximidade mínima necessária para que o *bluetooth* possa transmitir os dados obtidos.

Especificações	Valores
Dimensões	26,9mm x 13mm x 2,2mm
Protocolo Bluetooth	v2.0+EDR
Firmware	Linvor 1.8
Frequência	2.4GHz Banda ISM
Modulação	GFSK
Sensibilidade	Maior ou igual a 84dBm com 0.1% BER
Velocidade Assíncrona	2.1Mbps(Max)/160Kbps
Velocidade Síncrona	1Mbps/1Mbps
Segurança	Autenticação e Encriptação
Perfil	Porta serial Bluetooth
CSR chip	Bluetooth v2.0
Tensão	3.3V (2.7 a 4.2V)
Corrente	Pareado: 35mA Conectado: 8mA
Alcance	10m

Tabela 2 – Especificações do Módulo *Bluetooth* HC-05.

Fonte: Autores (2021).

Definidos os componentes, foi feita a montagem do projeto. Inicialmente, a pinagem entre o sensor de temperatura e umidade e o Arduino, através de jumpers ligados ao protoboard: o pino VCC do sensor, com o pino de 5V do Arduino. Em seguida, conectou-se o sensor ao pino 2 na placa por meio do resistor de 10 K Ω , este conectado ao segundo pino do sensor. E ainda, o GND (*Ground*) do sensor ao GND do Arduino. Feito isso, utilizou-se o código teste para o sensor DHT11, a fim de verificar a conexão executada.

Prosseguindo para conectar o módulo *bluetooth* ao Arduino, utilizando, também o protoboard, foi feito: a conexão entre o terra de ambos; o pino para alimentação “VCC” do módulo à entrada “3.3V” do Arduino; a porta “TX” do Arduino à entrada “RXD” do módulo *bluetooth*; e, por fim, a porta “RX” da placa à saída “TXT” do módulo. Já a conexão do *cooler* com o Arduino precisou-se utilizar o diodo, o transistor, o dissipador e o resistor de 1K Ω mencionados. O diodo, conectado em uma fonte externa de 12V, pôde ser ligado ao *cooler* e esses foram ligados ao transistor que está conectado ao pino 9 do Arduino através do resistor. O dissipador térmico foi utilizado no transistor, exercendo sua função de forma que o calor emitido pelo transistor foi absorvido, protegendo o equipamento e aumentando sua eficiência. Com essas conexões, tem-se o sistema de ventilação se comportando como saída, dependendo dos dados de entrada emitidos pelo sensor.

Para concluir o funcionamento da parte física, precisou ser realizada a construção do código na plataforma do Arduino, indicado pelo fluxograma da Figura 1. Onde foi feita a adição da biblioteca do sensor DHT11 ao código. Em primeiro lugar, o código verifica o sensor, e se necessário mostra uma mensagem para indicar que não está funcionando

ou está mal conectado. Então, quando funcionando corretamente, há a leitura e o envio da temperatura e da umidade captados pelo sensor, seguidos de uma condição para que o sistema de ventilação possa ser ligado. Finalizando, se o programa não é encerrado, o código se repete.

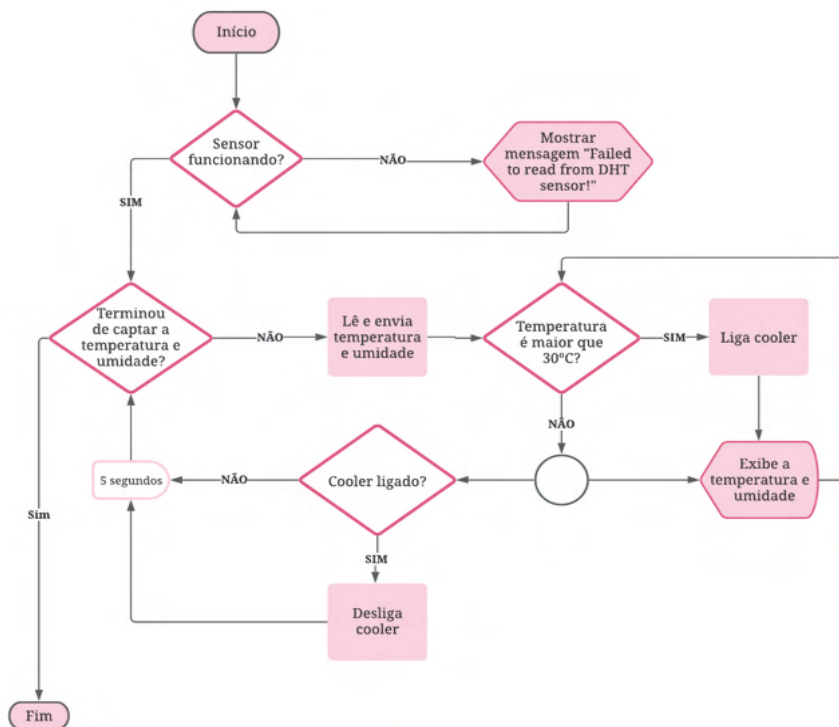


Figura 1 – Fluxograma indicando a relação entre o funcionamento do código na plataforma do Arduino e os sensores como componentes físicos.

Fonte: Autores (2021).

2.2 INTERFACE

Para o desenvolvimento inovativo do projeto descrito no tópico anterior, foi criada a interface a partir da plataforma *MIT App Inventor*. Assim, definiu-se as partes visuais da aplicação estabelecendo a localização dos botões, e das caixas para as respostas do sensor. Nesse momento, para fins estéticos e de organização, foi definida uma nova tela, a qual seria iniciada por meio de um botão e teria como finalidade a seleção de um dispositivo bluetooth. Após determinar os elementos necessários para o aplicativo móvel, foi possível realizar a construção do código e estabelecer a sua relação com os componentes do projeto, como apresentado pelo fluxograma da Figura 2.

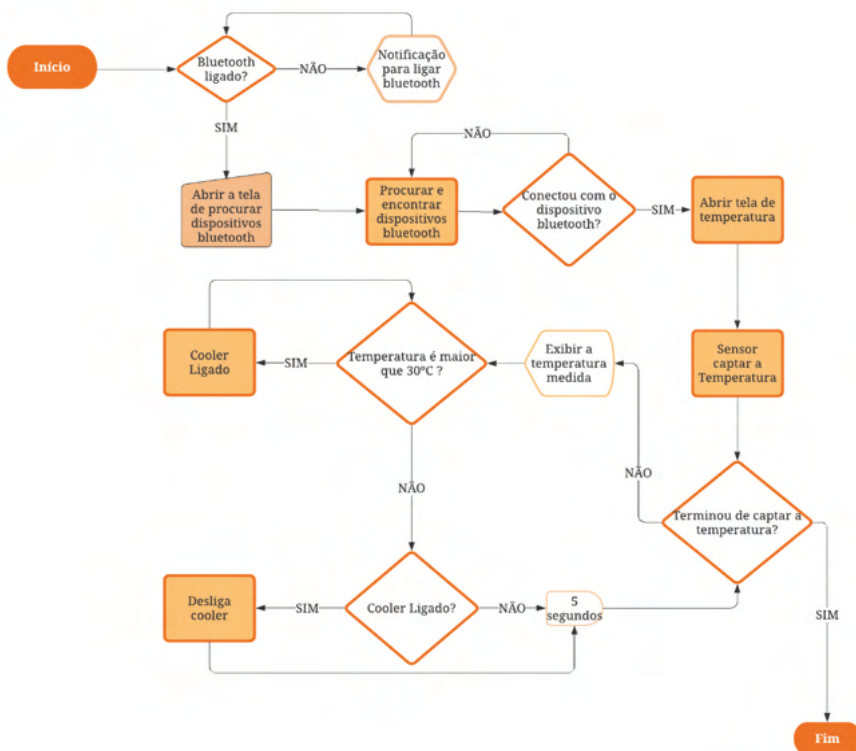


Figura 2 – Fluxograma indicando a relação entre o código e os componentes físicos da interface do aplicativo.

Fonte: Autores (2021).

A fim de estabelecer o fluxograma da Figura 2, usou-se a área *Blocks* da plataforma *MIT App Inventor*, onde pode ser realizada a programação dos componentes adicionados à parte visual. Quando a tela inicial do aplicativo abrisse caso o *bluetooth* do dispositivo não estivesse ligado, uma notificação para indicar que fosse ligado apareceria. Dessa forma, o botão *procurar* deveria ser clicado para que um dispositivo *bluetooth* próximo pudesse ser selecionado. Se nenhum dispositivo conectar, o processo de procurar é repetido, caso contrário a tela de temperatura se abre.

Ao abrir essa tela e receber os dados do sensor, os valores de temperatura e umidade irão aparecer, sendo a faixa em que a temperatura se encontra indicada por uma imagem de termômetro, onde será um termômetro vermelho para temperaturas quentes, azul para frias e preto para temperaturas ambiente. Ainda, ao lado da imagem aparecerá o estado do *cooler*, se estiver ligado: *on*; e desligado: *off*. Por fim, caso queira continuar a examinar as temperaturas obtidas, basta permanecer no aplicativo, senão, basta sair e

finalizar o *app*.

Para simplificar os testes do programa e definir o funcionamento do sistema de ventilação foram estabelecidos como limites de temperatura: acima de 30°C quente, abaixo de 20°C frio e entre ambas temperaturas, ambiente. Apesar disso, o código pode ser adaptado de acordo com sua finalidade. Por exemplo, em estufas a melhor temperatura de crescimento é de 21-24°C, o mínimo sendo 18.5°C e o máximo 26.5°C (JONES JR., 2002). Medicamentos a serem guardados em temperatura ambiente devem ser mantidos em um lugar bem ventilado, entre 15 e 25°C, ou até 30°C, dependendo da zona climática (HEWSON *et al.*, 2013). Assim, as temperaturas do código devem ser definidas conforme seu propósito.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a parametrização dos valores das temperaturas em três níveis: quente, ambiente e fria, foi verificado o funcionamento de todas as partes do projeto, tendo como resultado a visualização das medidas do ambiente como temperatura e umidade, por meio do aplicativo e em tempo real. Os resultados também incluíram o funcionamento do sistema de ventilação definido nos códigos desenvolvidos, se comportando de acordo com a variação de temperatura. A visualização desses, trata-se das telas da interface do aplicativo no dispositivo móvel, apresentada na Figura 3. A limitação do trabalho desenvolvido impõe que o dispositivo móvel deve estar nas proximidades do sensor para o alcance do sinal e a transmissão dos dados obtidos pelo mesmo sensor.

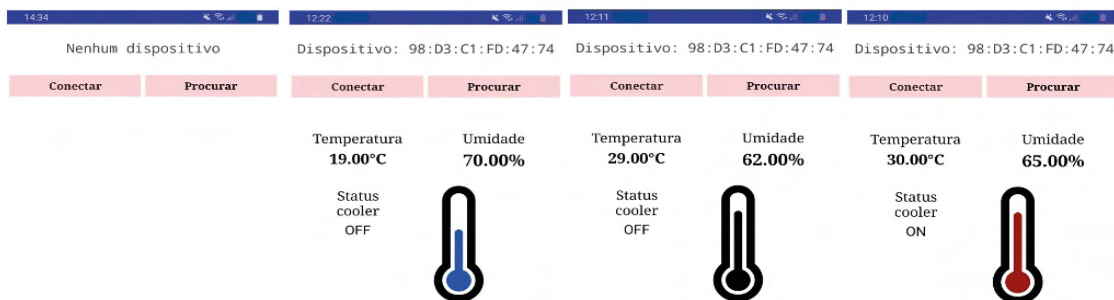


Figura 3 – Vistas das interfaces do aplicativo para controle de temperatura.

Fonte: Autores (2021).

A montagem do circuito está representada na Figura 4, com os *hardwares* mencionados na Tabela 3, sendo que sua esquematização está representada na Figura 5 com a pinagem realizada no projeto.

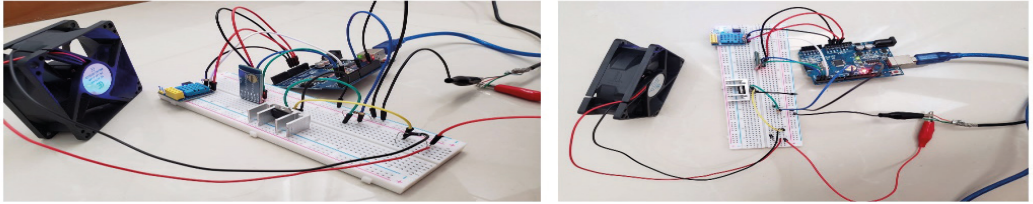


Figura 4 – Sistema para controle de temperatura e seus *hardwares*.

Fonte: Autores (2021).

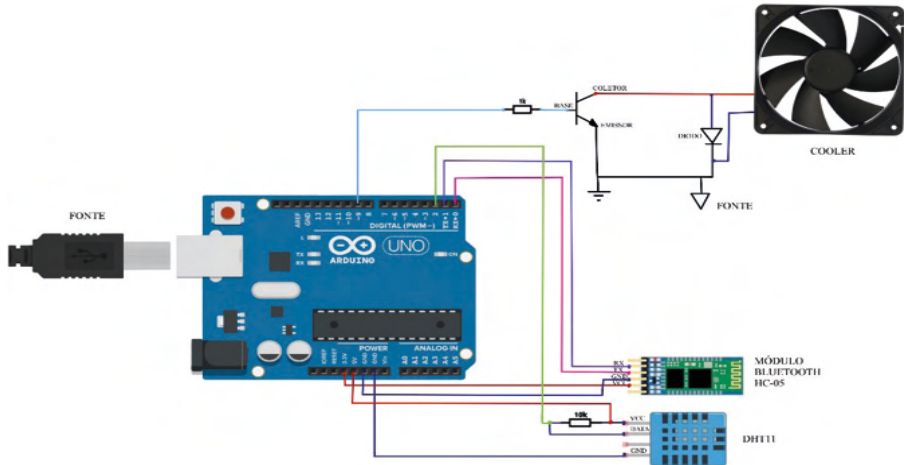


Figura 5 – Esquemático do hardware do sistema de controle de temperatura.

Fonte: Autores (2021).

Neste trabalho, foram adquiridas as partes físicas do projeto, consultados e estabelecidos os valores dos dispositivos e equipamentos. Na Tabela 3 são mostrados os valores de cada componente físico utilizado para a construção do projeto. Enquanto a Tabela 4 mostra alguns dos componentes apresentados na literatura que são utilizados atualmente em indústrias, sendo que a tabela tem valores (mínimo e máximo) que variam de acordo com a qualidade do componente, ou seja, variam de acordo com a precisão e a faixa de medição de temperatura requerida pelo setor industrial, comercial, médico ou residencial.

Dispositivo	Preço (R\$)
Arduino Uno SMD e Cabo de alimentação do hardware	56,91
Sensor de umidade e temperatura DHT11	21,76
Módulo Bluetooth HC-05	52,86
10 Resistores	1,43
Protoboard	19,80
65 unidades Jumpers	23,50
Smartphone Android	300,00*
Diodo 1N4007	0,10
Transistor NPN – TIP122	1,50
2 Garras jacaré	1,24
Cooler	9,00
Dissipador	3,12
Fonte de alimentação externa	40,00*

*Valores aproximados.

Tabela 3 – Valores dos dispositivos.

Fonte: Autores (2021).

Aparelho	Preço Mínimo (R\$)	Preço Máximo (R\$)
Termopar	13,50	2000,00
Termômetro Infravermelho	12,00	7000,00

Tabela 4 – Valores de alguns dos equipamentos apresentados na literatura.

Fonte: Autores (2021).

Além do benefício da visualização em tempo real, essa aplicação é vantajosa na questão do custo necessário para obtê-la. Em processos de produção, em laboratórios, indústrias, estufas e ainda outras áreas com a necessidade de controle de temperatura, aparelhos como termopar, termômetros digitais ou analógicos, infravermelho e de contato são utilizados para medir a temperatura. A Tabela 4 apresenta componentes presentes em um ambiente profissional que requer instrumentos de qualidade. Porém ao comparar os valores apresentados na Tabela 4 com os valores apresentados na Tabela 3, conclui-se vantajosa a utilização do sistema de controle desenvolvido como trabalho de inovação.

Outrossim, destaca-se a vantagem e facilidade proporcionada pelo aplicativo por ser controlada com valores digitais. Não precisa depender de um sistema analógico, que em casos de precisão, está sujeito a erros de paralaxe. Os ajustes de controle dado pela aplicação proporcionam uma precisão maior da temperatura a ser controlada e medida.

4 | CONCLUSÃO

Este trabalho desenvolveu um sistema de baixo custo composto de um aplicativo móvel, dispositivos eletrônicos e placas de desenvolvimento para controle de temperatura. Por ser um sistema de custo baixo, sua aplicação torna-se viável em diversas áreas comerciais, nas cadeias logísticas, nos processos industriais, nos transportes de produtos e uso em laboratórios. A inovação em destaque é descrita na literatura como etapas que começam a acontecer de forma rápida para criar produtos novos incrementando peças separadas em cima de uma infraestrutura já existente. Sobre o sistema desenvolvido, pode-se construir uma aplicação com conexão Wi-Fi ou Ethernet, de forma que a necessidade de proximidade com o dispositivo seja dispensável. Assim, será agregado valor ao projeto com um sistema baseado em uma estrutura IoT (*Internet of Things*) para controlar dispositivos eletrônicos em um sistema inteligente.

Ademais, a implementação de novos comandos ao aplicativo, como aumentar ou diminuir a temperatura com o auxílio de novos botões via interface e uso de ferramentas de ventilação, enriqueceria o atual sistema. Dessa forma, teria-se um sistema diferenciado, onde a temperatura seria controlada através de uma interface de fácil acesso, monitorada e controlada em tempo real a distância. Outra forma de incrementar o aplicativo seria o seu desenvolvimento em uma multiplataforma para que o aplicativo possa ser instalado em sistemas diferentes, como IOS e Android.

Da literatura, em Gunarathne e Kalingamudali (2019), foi desenvolvido um aplicativo que comunica com o sistema de controle inteligente para reduzir o consumo de energia. Há uma necessidade de revisar como a energia elétrica é utilizada, a fim de se evitar o seu desperdício. O uso racional da energia elétrica é um dos desafios aos sistemas elétricos de potência com a finalidade de diminuir o consumo de energia e por consequência reduzir custos econômicos. Nesse sentido, o sistema de controle de temperatura desenvolvido reduz o desperdício de energia dado que se evita o acionamento do sistema de ventilação na forma periódica e colabora com perdas indevidas de energia elétrica. O processo de ventilação somente será acionado quando os níveis de temperatura forem ultrapassados. Como trabalho futuro, sugere-se que seja desenvolvido uma pesquisa com a finalidade de medir o consumo de energia do sistema desenvolvido via uma interface e dispositivos, podendo ser mostrado os cálculos da redução do consumo.

Finalmente, numa pesquisa futura propõe-se desenvolver outros aplicativos para controle de irrigação, acesso a condomínios e para automação residencial. E ainda, é possível avaliar por usuários de várias áreas nessa pesquisa, se os aplicativos móveis atendem aos outros requisitos como: usabilidade, funcionalidade e eficiência.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ifes e ao CNPq pelo financiamento parcial deste trabalho, Edital PRPPG 02/2020 Pibic/Pivic, projeto nº PJ00004373/PT00008998.

REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL. Trabalhos Acadêmicos. Comunicação Privada. Período: 19/10/2020 a 22/10/2020.

CHOAB, Nouredine et al. **Review on greenhouse microclimate and application: Design parameters, thermal modeling and simulation, climate controlling technologies.** Solar Energy, v. 191, p. 109-137, 2019.

CIRIELLO, Raffaele Fabio; RICHTER, Alexander; SCHWABE, Gerhard. **Digital innovation.** Business & Information Systems Engineering, v. 60, n. 6, p. 563-569, 2018.

GUNARATHNE, SBMSS; KALINGAMUDALI, S. R. D. **Smart Automation System for Controlling Various Appliances using a Mobile Device.** In: 2019 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). IEEE, 2019. p. 1585-1590.

HEWSON, Campbell et al. **Personal medicines storage in New Zealand.** Journal of primary health care, v. 5, n. 2, p. 146-150, 2013.

JONES JR, J. Benton. **Tomato Plant Culture In the Field, Greenhouse, and Home Garden.** CRC Press, 2002.p. 18.

LIU, Zhuofu et al. **Design of vehicle-mounted medical temperature control system.** In: 2016 Sixth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC). IEEE, 2016. p. 57-60.

MCRBERTS, Michael; BÁSICO, Arduino. tradução. Rafael Zanolli. **Arduino Básico.** Editora Novatec. São Paulo, p. 32, 2011.

MON, Y. **The Bluetooth based LED control for Arduino test platform by using mobile APP.** International journal of scientific & technology research, v. 4, n. 6, p. 330-332, 2015.

PINEM, Ave Adriana et al. **Designing a health referral mobile application for high-mobility end users in Indonesia.** Heliyon, v. 6, n. 1, p. e03174, 2020.

SAWIDIN, Sukandar; PONGO, Deitje S.; RAMSCHIE, Ali AS. **System Design Temperature and Humidity Control Room with Android.** International Journal of Computer Applications, v. 975, p. 8887.

SUBAHI, Ahmad F.; BOUAZZA, Kheir Eddine. **An Intelligent IoT-Based System Design for Controlling and Monitoring Greenhouse Temperature.** IEEE Access, v. 8, p. 125488-125500, 2020.

CAPÍTULO 4

SISTEMA ELETRÔNICO DE RECOMENDAÇÃO AGNÓSTICO E ONLINE DE APLICAÇÃO EM FUNDOS DE INVESTIMENTOS

Data de aceite: 01/12/2021

Antonio Newton Licciardi Junior

<http://lattes.cnpq.br/2276618624922896>
<https://orcid.org/0000-0002-6755-883X>

Paulo Henrique Barros de Moura

<http://lattes.cnpq.br/5282357555590515>

RESUMO: Com a queda da taxa básica de juros no Brasil, os retornos obtidos através da caderneta de poupança, que é a aplicação com maior adesão, se tornaram deficitários. Tal fato tem levado ao crescimento do número de pessoas físicas investindo na bolsa de valores em busca de rentabilidade mais atrativa. O objetivo deste trabalho é estudar e construir um sistema agnóstico, que analise em tempo real os fundos de investimentos que tem apresentado melhor desempenho e possa sugerir, para pessoas com pouco conhecimento financeiro, o portfólio de fundos que mais se adequa ao perfil de investidor. Para as construções do sistema são exploradas as bases de dados abertas de fundos disponibilizadas pela CVM no Brasil e o perfil potencial do investidor, utilizando as ferramentas computacionais mais adequadas e amigáveis. Além disto, o resultado de pesquisa de opinião com usuários do sistema é apresentado e discutido.

PALAVRAS-CHAVE: Fundos de investimento. Sistema eletrônico agnóstico. Perfil de investidor.

ONLINE AGNOSTIC RECOMMENDATION SYSTEM FOR APPLICATION IN INVESTMENT FUNDS

ABSTRACT: Considering the reduction on basic interest rate in Brazil, the bonus payments obtained through “caderneta de poupança” (a brazilian popular special type of account which total value is correct by inflation index and standard low taxes, basically), the most used investment in the country, became deficitary. This fact has led to a growth in the number of individuals investing in the stock exchange in search of more attractive profitability. The paper objective is to study and build an agnostic system that analyzes in real time the investment funds that have shown the best performance and can suggest, for people with little financial knowledge, the portfolio of funds that best suits the investor profile. In order to build the system, open fund databases made available by CVM in Brazil and the investor’s potential profile are explored, using the most appropriate and user friendly computational tool. Beside, a system client survey deployed have its answers compiled and analysed.

KEYWORDS: Investment funds. Agnostic electronic system. Investor profile.

1 | INTRODUÇÃO

A educação financeira da população brasileira está muito aquém de um nível desejável de conhecimento, conforme pesquisa realizada pela Associação Brasileira das Entidades dos Mercados Financeiro e de Capitais (ANBIMA, 2020). Por exemplo, de acordo com dados

coletados, apenas para 22% dos entrevistados entendem a necessidade de guardar dinheiro para prevenir adversidades futuras com um fundo de caixa.

Não obstante, o volume de CPFs (Cadastro de Pessoas Físicas), registrados na bolsa de valores, tem crescido de forma acelerada e a procura por fundos de investimentos tem se intensificado (TABELA 1). Porém existe a evidência que iniciantes não possuem conhecimento e segurança para realizar suas próprias aplicações (CAMPISTA, 2020). Faz-se necessário encontrar e alinhar objetivos dos novos investidores com os valores dos gestores dos fundos. A Tabela 1 contém dados do aumento de CPFs na bolsa de valores nos últimos anos.

Ano	Quantidade de CPFs
2015	557.109
2016	564.024
2017	619.625
2018	813.291
2019	1.681.033
2020	2.958.442

Tabela 1 – Aumento de CPFs na bolsa de valores

Fonte: B3 (2020)

Apesar do amargo volume de resgates em crises como a iniciada nos Estados Unidos em 2008 (FERREIRA, 2015), os Fundos de Investimento Brasileiros passaram a ter uma maior contribuição nas carteiras de investimento das pessoas físicas, a partir do ano de 2000 (ANBIMA, 2020). Entende-se por carteira de investimento um grupo de ativos pertencente a um investidor, pessoa jurídica ou física. Por ativo entenda algo não físico, cujo valor é derivado de uma reivindicação contratual, como depósitos bancários, títulos e ações. Os ativos financeiros geralmente são mais líquidos do que outros ativos tangíveis, como *commodities* ou imóveis, e podem ser negociados nos mercados financeiros. (SPERANDIO, 2020).

A partir de 2008, (MOTA, 2020) a procura por investimentos, diversificados ou não, tornou-se exponencial, tendo em vista que as receitas geradas e as despesas necessárias para o empreendimento são divididas proporcionalmente a participação do investidor no condomínio. Ou seja, tais fundos são entidades. Eles reúnem o dinheiro de muitos investidores, investem esse dinheiro em diversos produtos, e o objetivo é obter a melhor rentabilidade possível.

O referido crescimento dos fundos de investimento e a correta correlação de como os brasileiros podem aplicar suas reservas nos mesmos, podem vir a ser explorados de forma agnóstica a instituições financeiras através de um sistema programado trabalhando

os princípios da Ciência de Dados (HESSEL, 2020). Para tal, deve-se tomar por base os dados da Comissão de Valores Mobiliários (CVM), autarquia vinculada ao Ministério da Economia do Brasil, que os disponibiliza sob a forma de movimentação diária em seu *website* (DADOSBRASIL, 2020).

Diante deste cenário em que, de um lado, pesa a falta de conhecimento relacionada ao planejamento financeiro dos brasileiros, e de outro, as oportunidades de diversificação de investimento de reservas em fundos de investimento adequados ao perfil de cada investidor, é oportuno, a criação de um sistema de recomendação que independe de instituições financeiras. Por não estar atrelado a uma ou outra instituição financeira, tal sistema pode ser chamado de agnóstico. Este deve, através do mapeamento do perfil de certo investidor, ser capaz de propor a melhor carteira de investimentos possível ao mesmo e assim apoiar o planejamento financeiro de um indivíduo. Compreende-se ‘melhor carteira’ àquelas atreladas a possível rentabilidade que pode ser obtida, respeitando a aversão ao risco de cada usuário.

2 | METODOLOGIA

Para construção do sistema agnóstico de recomendação, estruturou-se o mesmo em duas partes ou processos, que trabalham concomitantemente:

(1) Processo de Fundos

Este processo é composto da extração, limpeza e classificação de fundos de investimento a partir das bases diárias da CVM (de comprimento pelo menos seis meses) (DADOSBRASIL, 2020), para organização das recomendações de investimentos que podem ser oferecidas ao usuário, dependendo da análise de seu perfil de risco.

(2) Processo de Recomendação

Este processo consiste na análise do perfil de risco do usuário, a fim de viabilizar a correta recomendação de fundos. No corrente trabalho, por facilidade e estudo de viabilidade computacional, os perfis de usuário foram categorizados em três: conservador, moderado e agressivo.

A seguir, cada um dos processos utilizados é detalhado.

Sobre o (1) Processo de Fundos

Para a ingestão e manipulação de dados das bases de fundos abertos (DADOSBRASIL, 2020), torna-se necessário a criação de instruções de coleta e análise de dados (LICCIARDI et al., 2020). A fim de estudo de viabilidade construtiva do sistema no corrente trabalho, optou-se pela obtenção e análise de informações diárias dos fundos dos últimos 6 (seis) meses. Tal volume representa aproximadamente 1 Tera Byte, o qual pode ser ingerido por um sistema baseado em linguagem Python. Na ingestão de dados, dois

datasets (conjunto de dados) em formato *csv* (valores/campos separados por vírgulas) são utilizados e tem suas informações correlacionadas em uma única tabela:

Dataset 1 – possui informações diárias e distribuídas em campos e tipos sobre: o CNPJ do Fundo (formato caractere), o valor total da carteira do fundo (formato *float*), o patrimônio líquido (formato *float*), o valor da cota (formato *float*), as captações realizadas no dia (formato *float*), os resgates pagos no dia (formato *float*) e o número de cotistas (formato *int*).

Dataset 2 – este conjunto de dados é uma espécie de catálogo de cada fundo, e a partir dele é possível correlacionar com os dados ingeridos pelo *Dataset 1* pela informação de CNPJ (tipo caractere) existente no *Dataset 1*. Informações disponíveis: CNPJ do Fundo (caractere –Objetivo de correlação), denominação social (caractere), gestor (caractere), data de registro (caractere), data de cancelamento (caractere), status (caractere), classificação do fundo (caractere), tipo de rentabilidade (caractere), instituição gestora do fundo (caractere), CNPJ da Instituição (caractere), diretor responsável (caractere).

A escolha dos fundos de investimento é feita a partir do campo de classificação do fundo do *dataset 2*. Alguns regramentos foram trabalhados para garantir a limpeza a correção de uso dos fundos no sistema de recomendação:

Dataset 1

1. Remoção dos fundos com menos de 300 cotistas. Diversos destes fundos foram investigados e se trata de fundos fechados ou clubes com poucos investidores;
2. Remoção de fundos Inativos.

Importante mencionar que estes critérios não são óbvios de serem obtidos. Por outro lado, as operações realizadas no *Dataset 1* permitem reduzir o seu tamanho em 85% aproximadamente.

Dataset 2

1. Remoção de fundos duplicados;
2. Remoção de fundos Inativos.

As operações no *Dataset 2* permitem a redução do conjunto dos dados, tornando o conjunto final simples e conciso de ser manipulado pelo sistema. Face ao arquivo final obtido para manipulação em Python, não houve necessidade nem de usar uma base de dados estruturada, tão pouco uma base para padrões ‘big data’ como as citadas na Seção 3.

A partir dos dois *datasets* ‘limpos’, é organizada uma nova tabela que contém os melhores Fundos classificados (pela CVM – *Dataset 2*) como Renda Fixa, Multimercado e Ações. Esta lista é organizada em ordem crescente de rentabilidade no período analisado para cada tipo de fundo de acordo com a Equação 1.

$$\text{Rentabilidade} = \frac{\text{Valor final da cota do fundo}}{\text{Valor inicial da cota do fundo}}$$

Relevante comentar que o Processo 1 de Fundos é disparado no sistema uma vez por dia, a fim de garantir que os dados recomendados aos usuários estão sempre atualizados.

Sobre o (2) Processo de Recomendação do Sistema

O processo de recomendação dos fundos de investimento ao usuário é iniciado com o entendimento das necessidades financeiras básicas deste (ANDRADE, 2021), (AMÂNCIO, 2020). Para tal, é utilizado questionário formulado para identificar o perfil investidor, como o apresentado na Tabela 2. As respostas do questionário possibilitam classificar o usuário em três perfis: conservador, moderado e agressivo (Tabela 2). No Processo 2, o usuário também precisa fornecer um e-mail para recebimento da recomendação e um nome qualquer, de como gostaria de ser identificado. Além disto, nenhum dado relevante do usuário é armazenado no sistema, em respeito a LGPD (Lei no. 13.709/18). Para cada resposta do questionário é atribuído: '0' pelo sistema para resposta conservadora, '5' para moderada, e '10' para agressiva. Ao final do questionário é realizada uma média. Caso a média de respostas se encontre entre 0 a 3,3 o usuário é classificado com o perfil geral conservador pelo Processo 2, entre 3,4 e 6,6 como perfil geral moderado e entre 6,7 e 10 como perfil agressivo.

PERGUNTAS	OBJETIVO DA PERGUNTA	POSSÍVEIS RESPOSTAS	PERFIL
Ao procurar por um investimento, o que você busca?	Extrair do usuário o objetivo de seu investimento	Rentabilidade e Segurança	Moderado
		Rentabilidade	Agressivo
		Segurança	Conservador
Como você avalia seu nível de conhecimento sobre investimentos?	Extrair do usuário seu nível de conhecimento específico	Médio	Moderado
		Alto	Agressivo
		Baixo	Conservador
Se algo inesperado acontecer na economia ou no mercado e o resultado for uma oscilação grande nos seus investimentos, qual a sua atitude?	Extrair do usuário seu posicionamento frente a um movimento corriqueiro do mercado	Entendo que parte do meu patrimônio está sujeito a flutuações dessa magnitude	Moderado
		Entendo que meu patrimônio está sujeito a flutuações dessa magnitude e não está 100% protegido	Agressivo
		Resgataria minhas aplicações	Conservador
Quais desses investimentos você já realizou no passado?	Extrair do usuário suas experiências passadas	Nunca Investi	Conservador
		Bolsa de Valores e Derivativos	Agressivo
		Fundos de Investimento	Moderado
		Poupança	Conservador
		Previdência Privada Títulos Públicos	Conservador
Juliana ganhou 10 mil reais e aplicou todo seu dinheiro na poupança. Como você avalia a decisão de Juliana?	Extrair do usuário seu posicionamento frente a um perfil de investidor	Concordo plenamente	Conservador
		Discordo totalmente	Agressivo
		Concordo parcialmente	Moderado
Matheus não possui reserva de emergência e investe todo seu patrimônio em bolsa de valores. Como você avalia a	Extrair do usuário seu posicionamento frente a um perfil de investidor	Concordo plenamente	Agressivo
		Discordo totalmente	Conservador
		Concordo parcialmente	Moderado
Como você investiria no mercado de ações?	Extrair do usuário seu posicionamento frente a um perfil de investidor	Diversificaria entre empresas consolidadas e empresas com grande potencial de crescimento	Moderado
		Investiria somente em empresas consolidadas	Conservador
		Investiria em empresas com grande potencial de crescimento	Agressivo
Por quanto tempo você pretende deixar seu dinheiro investido?	Extrair do usuário o objetivo de seu investimento	6 meses	Conservador
		1 ano	Conservador
		3 anos	Moderado
		mais de 5 anos	Agressivo

Tabela 2 – Questionário perfil investidor - objetivo

Fonte: o autor

O **Processo 2** foi estruturado no sistema da seguinte forma:

- (1). Interface homem máquina (IHM) é projetada para ser simples e intuitiva de ser usada, de acordo com Ritter (2020). Além disso, a experiência do usuário no uso de interfaces, como o smartphone por exemplo, pode contribuir positivamente para uma possível recomendação desse sistema para futuros clientes.
- (2). Aberta uma conta de gmail que viabiliza as áreas de armazenagem em nuvem *Google* do sistema – conta encontreseufi@gmail.com
- (3). A partir da conta aberta, é estruturado um *Google Sites*, que apresenta o sistema de recomendações e propõe ao usuário identificar seu perfil de investidor e efetuar as recomendações atualizados ao mesmo. O aspecto visual do site pode ser observado na Figura 1.
- (4). Um questionário é elaborado na ferramenta *Google Forms*, com as questões identificadas na Tabela 2. Este formulário encontra-se publicado no rodapé do site, para acesso e utilização do usuário em caso de interesse. O Formulário

solicita, além das perguntas referentes a Tabela 2, um nome qualquer e um e-mail para devolução da recomendação a ser calculada. As respostas do formulário são alocadas em planilha do *Google Sheets*. Para acessá-la, é necessário salvar o arquivo JSON, que contém a chave de autenticação para a planilha, na mesma pasta onde se encontra o programa Python. Esta planilha é monitorada com um *delay* de 100 segundos, por conta da limitação de leitura de dados da API *Google Sheets* em um processo Python. Caso nova entrada seja identificada, ela é processada e dependendo do perfil de risco identificado no questionário, recomendações atuais de fundos são atreladas a um texto de e-mail, enviando àquele deixado no formulário pelo usuário. Um exemplo deste é apresentado na Figura 2.

- (5). A facilidade e a gratuidade de elaborar o Processo 2 do sistema em ambiente *Google*, leva a decisão de utilizar o GCS (*Google Cloud System*) como ambiente de hospedagem da plataforma de suporte ao Processo 1, em Python. O GCS permite atualmente sua exploração até a contabilização de US\$300 de uso, sem repasse de custos ao usuário/conta criada.
- (6). Respeitando o processo de ciência de dados o DMP (*Data Management Plan* – Plano de Gerenciamento de Dados), foi elaborado e assinado junto com os códigos do sistema, o que gerou o DOI <https://dmphub.cdlib.org/dmps/doi:10.48321/D1K881>.



Entenda quais são as características e as classes de fundos de investimentos que indicamos para você!

Figura 1 – Aspecto Visual da Interface de Entrada do Sistema de Recomendação

Fundos de Renda Fixa

Os fundos de renda fixa são investimentos onde é possível prever a rentabilidade com menor taxa de erro comparado aos outros fundos. Estes fundos possuem como principal aplicação as taxas de juros. Os títulos mais conhecidos são Tesouro Direto, CDB, LCI e LCA onde o investidor empresta seu dinheiro ao governo federal que paga o empréstimo somado a uma taxa de juros baseado na taxa selic.

Fundos Multimercado

Fundos Multimercado são fundos que possuem aplicações em diferentes setores do mercado financeiro, muitas vezes misturando renda fixa com renda variável (ações). Buscam um maior rendimento que os fundos de renda fixa com menor risco comparado aos fundos de ações.

Fundos de Ações

Fundos de Ações são fundos que tem como característica um mínimo de 67% de suas aplicações em cotas de ações de empresas listadas na bolsa de valores. Possuem uma maior volatilidade, sendo assim, um risco maior e um potencial de retorno maior.

O que é o perfil de investidor? Perfil de investidor é o resultado de uma análise das suas características em relação a investimentos, e principalmente ao risco envolvido. Simples de ser obtido através de algumas questões, o perfil de investidor serve para indicar a carteira de investimentos mais adequada para você.

Clique nos ícones abaixo para responder nossos formulários



Perfil de Investidor



Feedback

Fonte: o autor

Olá

Após analisarmos as suas respostas do questionário, identificamos que o seu perfil de investidor é conservador.

Baseado nisso a classe que mais se adequa ao seu perfil é a de Fundos de Renda Fixa.

Então escolhemos para você os três melhores fundos de investimentos para o seu perfil, que apresentaram a maior rentabilidade nos últimos seis meses. São eles:

Sugestão 1: BTG PACTUAL DEBENTURES INCENTIVADAS FI EM COTAS DE FUNDOS INCENTIVADOS DE INVEST EM INFRA RENDA FIXA

Sugestão 2: ICATU VANGUARDA FUNDO INCENTIVADO DE INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA RENDA FIXA

Sugestão 3: MB MATIC RENDA FIXA LONGO PRAZO FUNDO DE INVESTIMENTO FINANCEIRO

Por favor, nos ajude a melhorar respondendo um rápido questionário de feedback!

Você será redirecionado para o questionário clicando no link a seguir: <https://forms.gle/t6ppVszZmW1hg92N9>

Email: encontreseuif@gmail.com | Site: <https://sites.google.com/view/encontreseuif>

Figura 2 – Exemplo de e-mail enviado pelo sistema de recomendação

Fonte: o autor

O funcionamento dos Processos 1 e 2 do sistema de recomendação pode ainda ser compreendido, acompanhando o diagrama apresentado na Figura 3. O Processo 1 é construído totalmente em Python e corresponde as etapas na parte superior esquerda da Figura 3. Já o Processo 2 é composto por parte que utiliza os recursos do *Google* e parte do programa Python que monitora a planilha gerada a fim de determinar se um novo usuário deu entrada no sistema solicitando novas recomendações de fundos de investimentos. É importante ressaltar que ambos os Processos são cíclicos o que configura em um sistema automático.

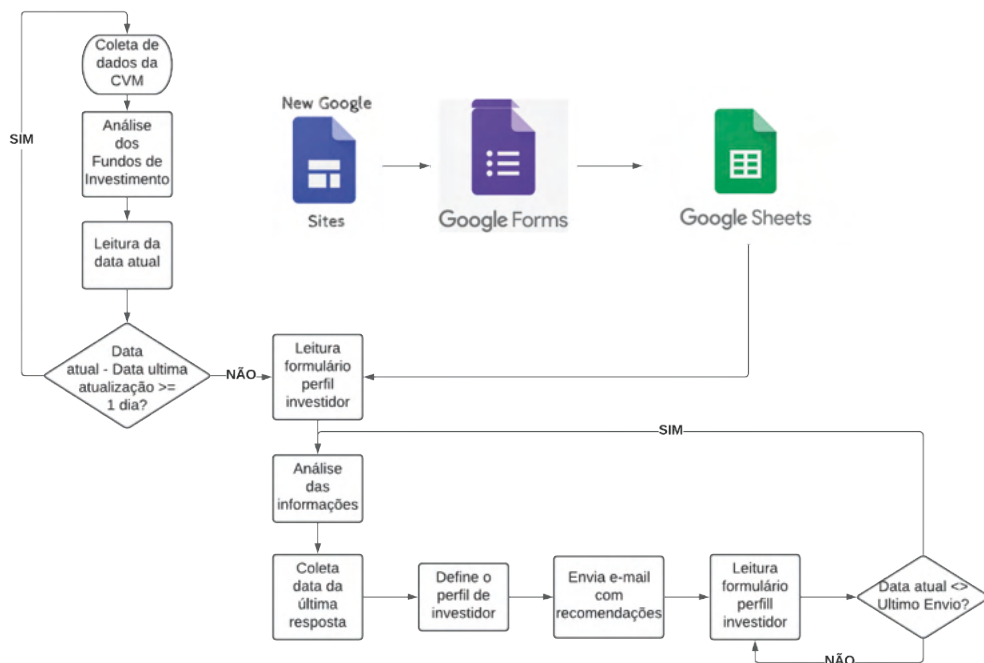


Figura 3 – Fluxograma dos Processos do Sistema de Recomendação

Fonte: o autor

Vale mencionar, que no e-mail e no sistema (vide Figura 1 e 2) é disponibilizado ao usuário link que pode redirecionar este, se assim desejar, a um formulário de *feedback* sobre o ambiente. As perguntas foram elaboradas com o intuito de avaliar a funcionalidade, a fim de viabilizar discussões e eventualmente melhorias no sistema. A Tabela 3 contém as perguntas do formulário de avaliação. Igualmente ao formulário inicial, este também é hospedado na plataforma *Google Forms*. As respostas anônimas eventualmente obtidas, são armazenadas em outro *Google Sheets*. As mesmas são dispostas em uma escala de 1 a 5, em que o número 1 é considerado como avaliação 'péssima' e o número 5 é considerado avaliação 'excelente' para a questão formulada.

PERGUNTAS	OPÇÕES DE RESPOSTA
Como você avalia a nossa contribuição para os seus investimentos?	Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é muito ruim e 5 muito bom.
Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é muito ruim e 5 muito bom. Como você avalia o nosso tempo de resposta?	Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é muito ruim e 5 muito bom.
Qual a possibilidade de você seguir a nossa recomendação?	Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é improvável e 5 muito provável.
Como você avalia nossa diversidade de fundos recomendados?	Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é insatisfeito e 5 satisfeito.
Quanto você recomendaria nosso serviço para um amigo ou familiar?	Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é improvável e 5 muito provável.
Como você avalia nossa clareza na comunicação?	Muito Clara
	Clara
	Pouco Clara
	Confusa
Muito obrigado pelo feedback, se você se sentir confortável, deixe aqui seu sua sugestão no que podemos melhorar.	Resposta dissertativa aberta

Tabela 3 – Perguntas do formulário de feedback

Fonte: o autor

3 I FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para as análises dos dados podem ser utilizadas ferramentas de manipulação e de estruturação, dependendo da estrutura de dados recebidos. Quando distribuído em diversas tabelas que precisam ser conjugados por chaves de acesso, o banco estruturado é a ferramenta viável (ARANHA, 2006). Uma possível ferramenta, é o MYSQL (JOSÉ et al., 2020). Trata-se de um sistema gerenciador de banco de dados, que nesse projeto poderá ser utilizado a fim de otimizar análises e tempo de processamento nos cruzamentos de informações. Se os dados dependerem de tabelas com pouca estruturação ou correlação de tabelas, outras soluções tecnológicas podem ser alternativamente usadas (VASCONCELLOS, 2021). Se o volume de dados a ser tratado for elevado, da ordem de Tera Bytes, soluções como MONGO DB ou mesmo o NO SQL (PATEL, 2020) são usadas para facilitar o armazenamento e busca de informações rapidamente. Esta rapidez é ganha de forma não gratuita, já que se renuncia à consistência de registros de dados. Ainda, para o caso de volumes da ordem de Mega Bytes, aplicações mais simples como Excel ou *Google Sheets* podem ser igualmente na ingestão, limpeza e tratamento de dados (HOSSAIN, 2021), (OUAFIQ, 2021).

As análises de dados devem ser baseadas nos princípios de Ciência de Dados (MEDEIROS et al., 2021). Em geral para análises financeiras, faz-se uso na linguagem de programação em Python (ANDRADE, 2020).

A partir da programação, respeitando a Ciência de Dados, são cumpridas as etapas

de coleta, limpeza, curatela e manutenção de dados, além de transformar os mesmos em informações que objetivem otimizar o portfólio de fundos a um certo perfil de investidor (LICCIARDI et al., 2020).

O sistema de recomendação deve ser armazenado em Nuvem, para que seja viável a disponibilização *on-line* e extração contínua de dados (WANG et al., 2020). A vantagem do ambiente de Nuvem ou *Cloud Computing* está relacionada a facilidade de escalar a solução (em capacidade de processamento e memória, disco) de acordo com as necessidades. Tem-se como alvo um dos três ambientes de *Cloud* melhor classificado no Mercado brasileiro: *Google Cloud* (GCS), *Azure* ou *AWS* (Amazon) (KAMAL, 2020).

Segundo Dixon (2020), o termo *Data Lake* foi criado com o intuito de representar um repositório de dados armazenados em um formato no qual fosse de fácil extração, direto das fontes originais, no qual incluía dados estruturais e semiestruturais, como de bancos de dados e arquivos no padrão computacional e de armazenamento CSV e JSON.

Utiliza-se na corrente de pesquisa um *Data Lake* que armazena as informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho em questão (DADOSBRASIL, 2020). De tal repositório da CVM, recomendações de investimentos em fundos podem ser classificadas em particular como: Fundos de Renda Fixa, Fundos Multimercado ou Fundos de Ações. Como fundos de renda fixa, entenda aqueles que buscam retorno através de investimentos em ativos de renda fixa, em estratégias baseadas em risco de juros ou de índices de preços (ANBIMA, 2021). Nesta estratégia excluem-se as que impliquem em exposição em renda variável, como ações. Já como fundos de Ações, compreende-se aqueles cuja carteira é composta principalmente por ativos de renda variável como: ações à vista, bônus ou recibos de subscrição, certificados de depósito de ações. Para fundos classificados como multimercado, entenda como aqueles cuja política de investimento envolva diversos fatores de risco, sem o compromisso em nenhum fator especial.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DO PROGRAMA PYTHON

O programa estruturado em Python atendeu a expectativa, funcionando de forma automatizada e sendo possível ser processado em qualquer lugar com acesso à internet. Inicialmente o código foi testado e implementado em uma máquina *on-premise* e por fim através de uma máquina virtual, onde em ambos os ambientes o programa atendeu as expectativas. Vale mencionar que durante os testes foi encontrada dificuldade relacionada a quantidade de leituras na API do *Google Sheets* (Figura 4), por se tratar de um serviço gratuito e para mitigar esse erro foi necessário estabelecer um retardo de 100 segundos entre as leituras (Figura 5). Para que o sistema entre em produção é necessária a contratação do serviço empresarial *Google Sheets*, *Google Drive*, *Google Docs* e *Google Presentations*.

```
APIError: {'code': 429, 'message': "Quota
exceeded for quota metric 'Read requests' and
limit 'Read requests per minute per user' of
service 'sheets.googleapis.com' for consumer
'project_number:780230577900'.", 'status':
'RESOURCE_EXHAUSTED', 'details': [{'@type':
'type.googleapis.com/google.rpc.ErrorInfo',
'reason': 'RATE_LIMIT_EXCEEDED', 'domain':
'googleapis.com', 'metadata': {'consumer':
'projects/780230577900', 'quota_limit':
'ReadRequestsPerMinutePerUser', 'quota_metric':
'sheets.googleapis.com/read_requests',
'service': 'sheets.googleapis.com'}}]}
```

Figura 4 – Erro da API

Fonte: o autor

```
while (leitura_atual_forms == primeira_leitura_forms):
    time.sleep(100)
    sheet = client.open('Respostas - Análise de Perfil ')
    sheet_instance = sheet.get_worksheet(0)
    records_data = sheet_instance.get_all_records()
    records_df = pd.DataFrame.from_dict(records_data)
```

Figura 5 – Delay para leitura da API

Fonte: o autor

4.2 ANÁLISE DE PERFIL DE INVESTIDOR

Participaram do questionário de análise de perfil de investidor 52 pessoas randomizadas, ou seja, com espectro variado em níveis de conhecimento sobre o mercado de fundos de investimentos. A partir desta análise obteve-se que 62% se enquadram no perfil moderado, 29% se enquadram no perfil agressivo e 10% se enquadram no perfil conservador conforme ilustrado na Figura 6. Desta forma, é possível observar que para esta amostra realizada a tendência é que os investidores potenciais apliquem seu dinheiro de forma moderada.

Questionário análise de perfil

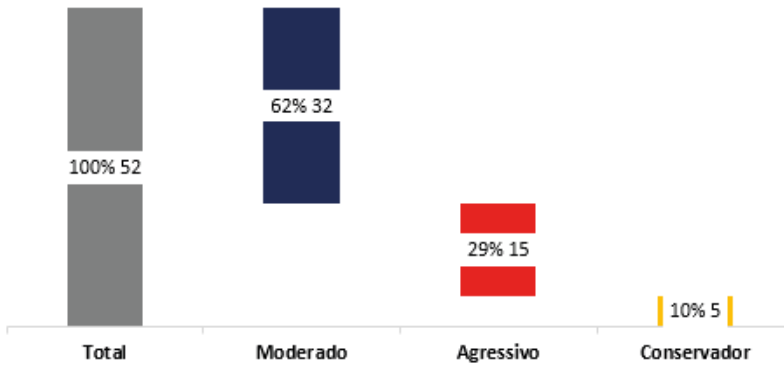


Figura 6 – Participações do questionário análise de perfil

Fonte: o autor

A Figura 7 mostra que cerca de 50% dos participantes têm pouco conhecimento sobre investimentos, e apesar disso 71% procuram por rentabilidade e segurança ao aplicar seu capital. Isso pode estar relacionado a vontade de ter uma renda extra oriunda de aplicações financeiras e ao momento de incerteza econômico no qual nosso País se encontra. Em relação as questões que são apresentadas situações adversas, Figura 7 – Gráfico C e D, correspondendo a questão em C a de um perfil extremamente conservador e a em D outro extremamente agressivo, existe uma incoerência estatística nas respostas. Esta pode ser explicada pela desatenção na leitura das questões ou pela falta de conhecimento para avaliar as mesmas.

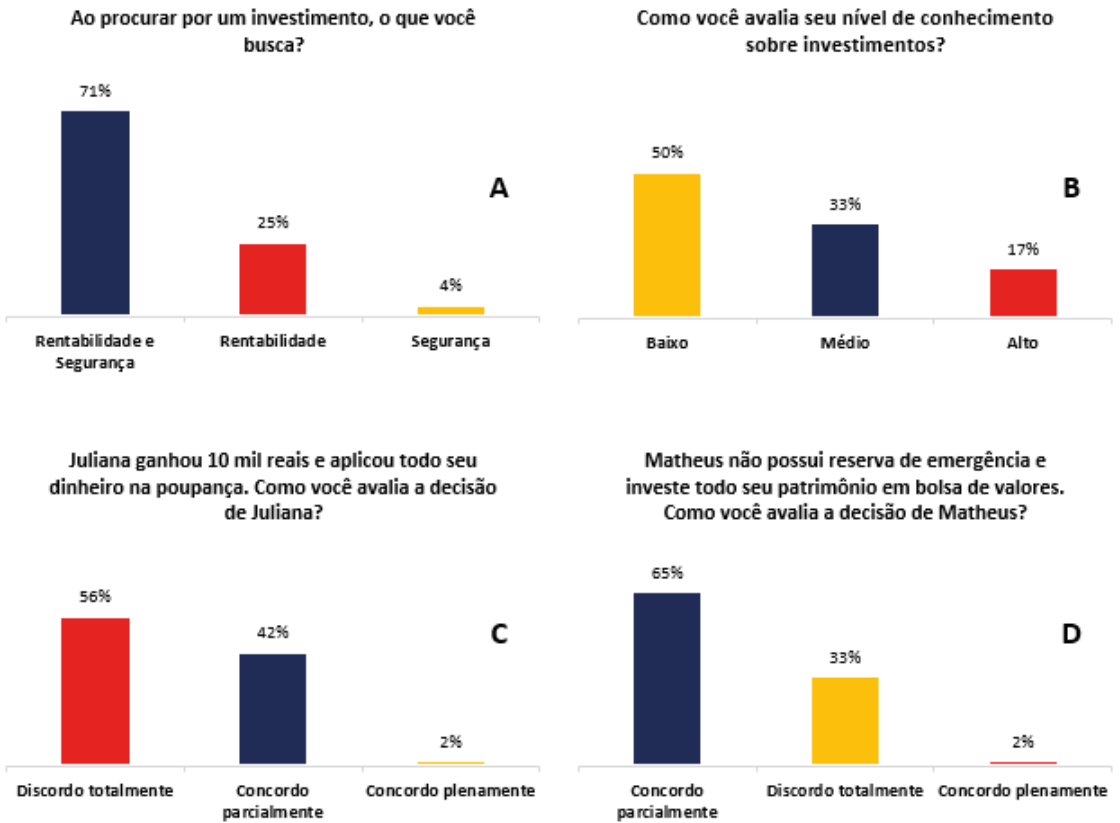


Figura 7 – Gráficos A, B, C e D

Fonte: o autor

4.3 ANÁLISE DOS FUNDOS DE INVESTIMENTO

Tendo os dados previamente filtrados por classes de fundos de investimento, número de cotistas e atividade do fundo, até a data presente de entrega deste trabalho, pode-se constatar que os fundos que tiveram melhor rentabilidade no período antecessor de 6 (seis) meses foram ranqueados e dispostos em três classes (Tabela 4).

Posição no Ranking	Fundo de Renda Fixa	Fundo Multimercado	Fundo de Ações
1ª	Mb Matic Renda Fixa Longo Prazo Fundo De Investimento Financeiro.	Vitreo Cripto moedas Fi Em Cotas De Fundo De Investimento Multimercado Investimento No Exterior	Trigono Delphos Income Fundo De Investimento Em Cotas De Fundos De Investimento Em Acoes.
2ª	Btg Pactual Debentures Incentivadas Fi Em Cotas De Fundos Incentivados De Invest Em Infra Renda Fixa.	Hashdex 100 Nasdaq Crypto Index Fundo De Investimento Multimercado Investimento No Exterior	Trigono Flagship Small Caps Fundo De Investimento Em Cotas De Fundos De Investimento Em Acoes.
3ª	Icatu Vanguarda Fundo Incentivado De Investimento Em Infraestrutura Renda Fixa.	3I Itaú Ideias De Investimento Estratégia Protegida Iii Fundo De Inv Em Cotas De Fundos De Inv Multi	Trigono Flagship 60 Small Caps Fundo De Investimento Em Cotas De Fundos De Investimento Em Acoes.

Tabela 4 – Ranking por classe de fundos

Fonte: o autor

Contudo, é possível comparar o retorno obtido pelos fundos de investimentos recomendados com seus respectivos *benchmarks* na Tabela 5. Por *benchmark* entenda que é uma comparação entre a performance do fundo sugerido e o desempenho relativo do índice comparável.

Retorno Benchmark	Retorno	Fundo de Investimento	Classe
(CDI) 1%	8,8%	Mb Matic Renda Fixa Longo Prazo Fundo De Investimento Financeiro	FRF
(CDI) 1%	5,4%	Btg Pactual Debentures Incentivadas Fi Em Cotas De Fundos Incentivados De Invest Em Infra Renda Fixa	FRF
(CDI) 1%	3,6%	Icatu Vanguarda Fundo Incentivado De Investimento Em Infraestrutura Renda Fixa	FRF
(IBOV) 6,5%	37,1%	Vitreo Cripto moedas Fi Em Cotas De Fundo De Investimento Multimercado Investimento No Exterior	MM
(IBOV) 6,5%	33,6%	Hashdex 100 Nasdaq Crypto Index Fundo De Investimento Multimercado Investimento No Exterior	MM
(IBOV) 6,5%	19,7%	3I Itaú Ideias De Investimento Estratégia Protegida Iii Fundo De Inv Em Cotas De Fundos De Inv Multi	MM
(IBOV) 6,5%	51,1%	Trigono Flagship 60 Small Caps Fundo De Investimento Em Cotas De Fundos De Investimento Em Acoes	FIA
(IBOV) 6,5%	50,9%	Trigono Flagship Small Caps Fundo De Investimento Em Cotas De Fundos De Investimento Em Acoes	FIA
(IBOV) 6,5%	47,2%	Trigono Delphos Income Fundo De Investimento Em Cotas De Fundos De Investimento Em Acoes	FIA

Tabela 5 – Retorno de Índices x Retorno de Fundos

Fonte: o autor

A fim de comparar o desempenho entre os fundos de investimentos no período analisado, são dispostos os gráficos em base 100 das classes de renda fixa (Gráfico 1), multimercado (Gráfico 2) e o de ações (Gráfico 3).

Melhores Fundos de Renda Fixa dos últimos 6 meses

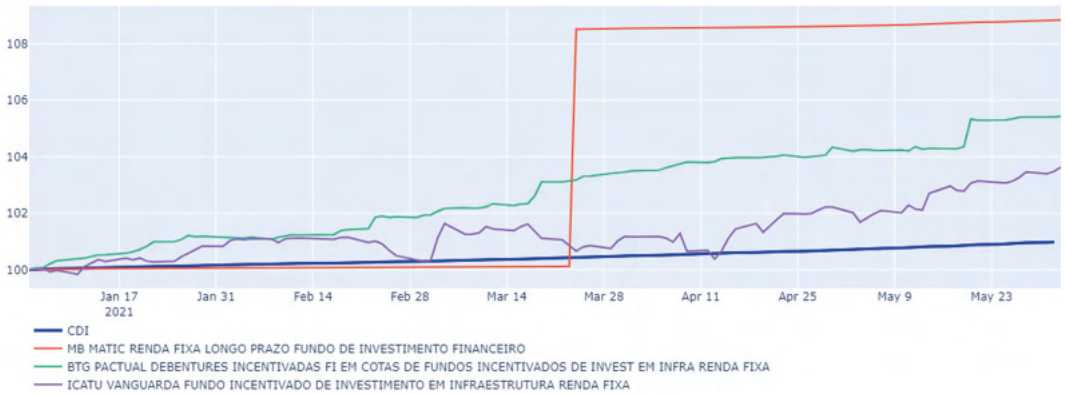


Gráfico 1 –Melhores Fundos de Renda Fixa

Fonte: o autor

Melhores Fundos Multimercado dos últimos 6 meses

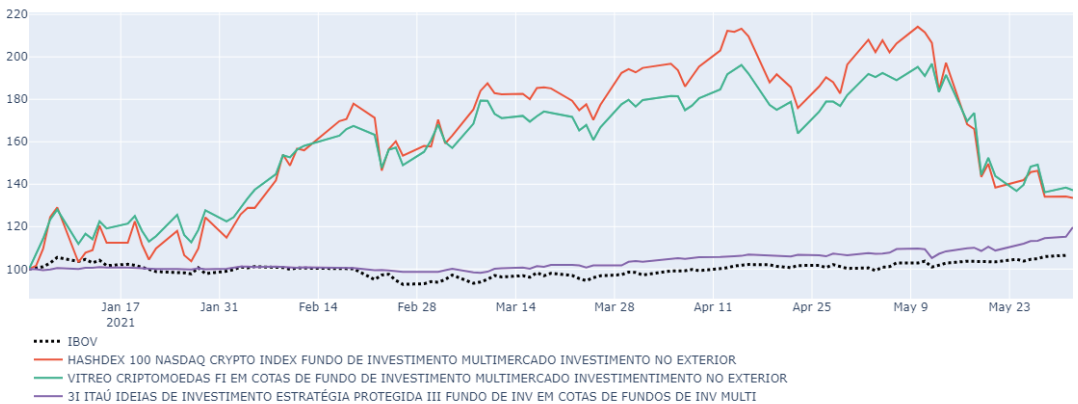


Gráfico 2 – Melhores Fundos Multimercado

Fonte: o autor

Melhores Fundos de Ações dos últimos 6 meses

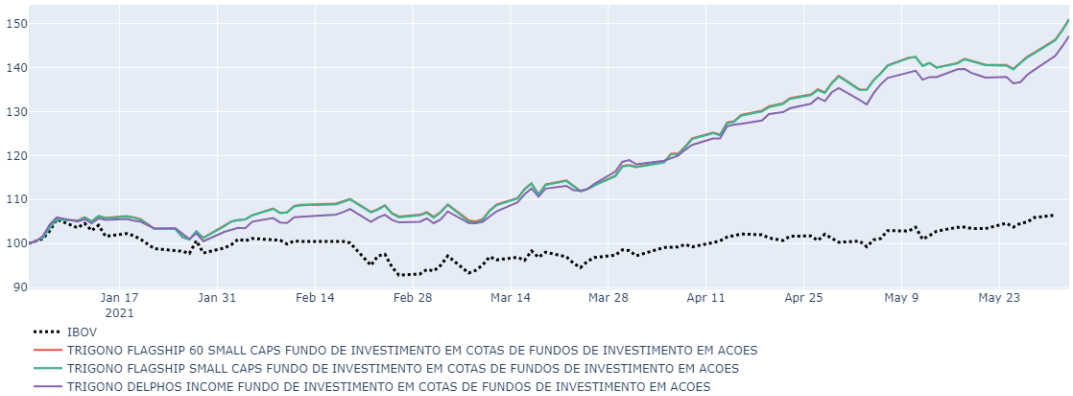


Gráfico 3 – Melhores Fundos de Ações

Fonte: o autor

Podendo destacar que no Gráfico 3 os fundos de *small caps*, empresas com valor de mercado de até R\$ 10 bilhões, apresentaram aproximadamente o mesmo desempenho e suas linhas se sobrepuseram no gráfico, por isso não é nítida a presença das três linhas dos fundos.

4.4 ANÁLISE DO FEEDBACK

Após a entrega da recomendação dos fundos de investimentos, foram coletados 20 *feedbacks* de usuários do sistema agnóstico. Dentre os recebidos 30% avaliaram a contribuição para os seus investimentos como muito bom (Gráfico 4).

Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é muito ruim e 5 muito bom. Como você avalia a nossa contribuição para os seus investimentos?

20 respostas

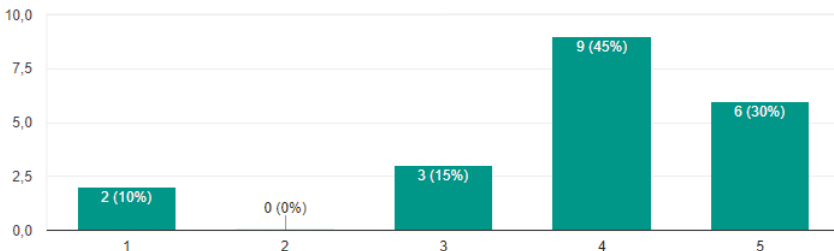


Gráfico 4 – Contribuição para investimento

Fonte: o autor

Adicionalmente, 50% dos respondentes avaliaram o tempo de resposta como sendo muito bom (Gráfico 5).

Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é muito ruim e 5 muito bom. Como você avalia o nosso tempo de resposta?

20 respostas

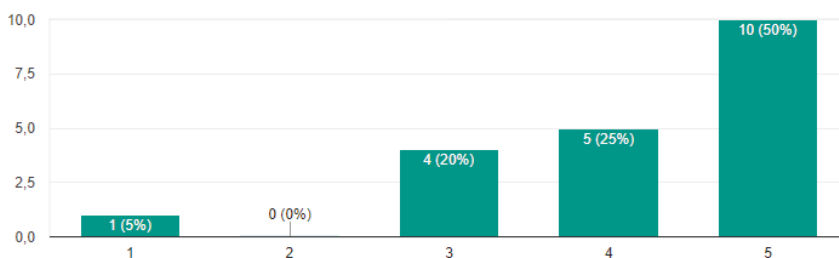


Gráfico 5 – Tempo de resposta

Fonte: o autor

Além disto, 25% das respostas recebidas dos potenciais investidores mencionam como sendo muito provável seguir a recomendação do fundo de investimento (Gráfico 6).

Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é improvável e 5 muito provável. Qual a possibilidade de você seguir a nossa recomendação?

20 respostas

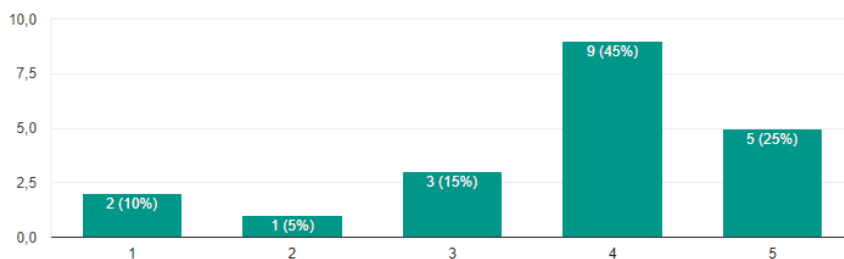


Gráfico 6 – Adesão da recomendação

Fonte: o autor

Em relação a diversidade dos fundos recomendados, 20% dos usuários se declararam como satisfeitos (Gráfico 7).

Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é insatisfeito e 5 satisfeito. Como você avalia nossa diversidade de fundos recomendados?

20 respostas

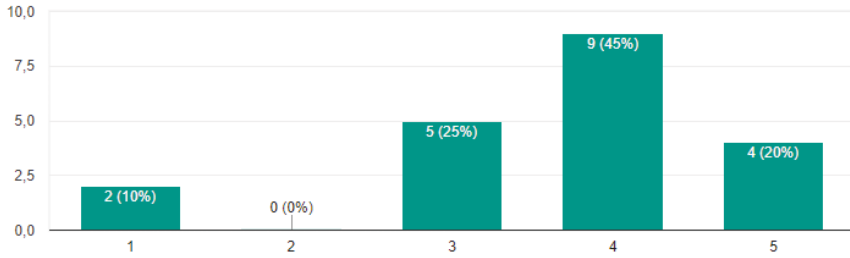


Gráfico 7 – Diversidade da recomendação

Fonte: o autor

Referente a indicação do sistema, 35% dos respondentes afirmaram que recomendariam o sistema para um amigo ou familiar (Gráfico 8).

Em uma escala de 1 a 5, onde 1 é improvável e 5 muito provável. Em uma escala de 1 a 5, quanto você recomendaria nosso serviço para um amigo ou familiar?

20 respostas

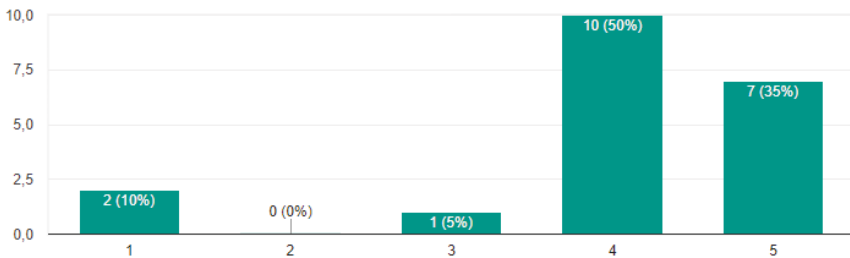


Gráfico 8 – Indicação do sistema

Fonte: o autor

Por fim, 50% participantes avaliaram a forma de comunicação como muito clara (Gráfico 9).

Como você avalia nossa clareza na comunicação?

20 respostas



Gráfico 9 – Clareza na comunicação

Fonte: o autor

No geral o feedback foi positivo, no entanto é perceptível que a adesão das recomendações e a diversidade de fundos recomendados não tiveram um nível de excelência quando comparado aos demais questionamentos, isso pode ser avaliado e corrigido para uma possível evolução do sistema. Além disso, foram coletadas algumas sugestões dissertativas onde usuários agradeceram e mencionaram que gostaram das recomendações, e outros que contribuíram com críticas construtivas, apontando a falta de um canal que possa orientar pessoas a investirem na prática e análises mais robustas para entregar a recomendação.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como mencionado na Seção 4, uma alternativa interessante é a contratação do serviço empresarial *Google*, a fim de não gerar limitações de número de acessos simultâneos ao sistema. Outro aspecto que precisa ser melhorado são as classificações de risco dos fundos de investimentos em uma futura versão.

Em suma, o sistema eletrônico agnóstico conseguiu atender o principal objetivo de realizar a recomendação de fundos de investimentos para pessoas com pouco conhecimento sobre o mercado financeiro, de acordo com o perfil do investidor.

REFERÊNCIAS

AMÂNCIO, Jean Carlos Batista. **Educação financeira e investimentos: Um breve estudo sobre o perfil do brasileiro em 2020**. 2020.

ANBIMA. **Histórico de dados dos Fundos de Investimento brasileiros**. Disponível em https://www.anbima.com.br/pt_br/informar/ferramenta/fundos-de-investimento/envio-de-dados.htm. Acesso em: 07 de outubro de 2020.

ANBIMA. **Nova cartilha de classificação de fundos**. Disponível em: https://www.anbima.com.br/data/files/B4/B2/98/EF/642085106351AF7569A80AC2/Cartilha_da_Nova_Classificacao_de_Fundos_1_.pdf. Acesso em: 01 março de 2021.

ANDRADE, Igor Veridiano. Utilização De Métodos Estatísticos E Da Linguagem Python No Mercado Financeiro. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 6, n. 1, p. 57, 2020.

ANDRADE, Leonardo de Melo Machado et al. **Análise do nível de conhecimento e prática em investimentos financeiros dos casais do estado de Santa Catarina**. 2021.

ARANHA, Christian; PASSOS, Emmanuel. A tecnologia de mineração de textos. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação**, v. 5, n. 2, 2006.

CAMPISTA, Mariana Monteiro. **A disrupção na indústria brasileira de serviços financeiros pela democratização do acesso a investimentos**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DADOSBRASIL. **Portal Brasileiro de Dados Abertos**. (2020). Fundos de Investimento: Documentos. http://dados.gov.br/dataset/fi-doc-inf_diario. Acesso em: 15 de setembro de 2020.

DIXON, James. **Data Lake, a fonte do Big Data**. Disponível em: <http://www.cienciaedados.com/data-lake-a-fonte-do-big-data/>. Acesso em: 12 de outubro de 2020.

FERREIRA, Adriana (2015). **Os Fundos de Investimento no Brasil de 2008 a 2013: Institucionalidade e Interfaces com Política Econômica**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea 2015.

HESSEL, ANA MARIA DI GRADO; DE PAULA, FABIO. Psicometria, mídias sociais e ciência de dados no m-learning. **Inteligência artificial & redes sociais**. 2020.

HOSSAIN, Eklas. MS Excel in Engineering Data. **Excel Crash Course for Engineers**, p. 169-242, 2021.

JOSE, Benymol; ABRAHAM, Sajimon. Performance analysis of NoSQL and relational databases with MongoDB and MySQL. **Materials Today: Proceedings**, v. 24, p. 2036-2043, 2020.

KAMAL, Muhammad Ayoub et al. **Highlight the Features of AWS, GCP and Microsoft Azure that Have an Impact when Choosing a Cloud Service Provider**. 2020.

LICCIARDI, Newton; MENDONÇA, Jefferson; GUIMARÃES, Andhros. **Análise dos fundos de investimento brasileiros**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336846185_UNIVERSIDADE_PRESBITERIANA_MACKENZIE_SCOLA_ENGENHARIA_Analise_dos_fundos_de_investimento_brasileiros_Seminario_apresentado_VI_Mostra_Pos-Graduacao_da_USP_III_WDC_Workshop_Data_Science. Acesso em: 14 de setembro de 2020.

MEDEIROS, Dianne SV et al. Análise de dados em redes sem fio de grande porte: Processamento em fluxo em tempo real, tendências e desafios. **Sociedade Brasileira de Computação**, 2021.

MOTA, Pedro. **Os fundos de Investimentos Brasileiros mais Rentáveis do Século XXI**. Disponível em: <https://terraoeconomico.com.br/os-fundos-de-investimentos-brasileiros-mais-rentaveis-do-seculo-xxi/>, 2015. Acesso em: 21 de setembro de 2020.

PATEL, Shrikant et al. MONGODB VS MYSQL: **A Comparative Study of MongoDB and MySQL Based on Their Performance**. EasyChair, 2020.

OUAFIQ, El Mehdi et al. IoT in smart farming analytics, big data based architecture. **Human Centred Intelligent Systems**. Springer, Singapore, 2021. p. 269-279.

RITTER, Gustavo Gomes. **Painéis elétricos inteligentes: recorrendo a soluções comerciais**. 2020.

SPERANDIO, Bruno. Liquidez significado – **Um importante indicador nos investimentos**. Disponível em: <https://fiis.com.br/artigos/liquidez-significado/>, 2018. Acesso em: 28 de setembro de 2020.

VASCONCELLOS, Karolina Boness de et al. **Otimização da contabilidade: uma análise da literatura sobre o uso de ferramentas tecnológicas nos processos contábeis brasileiros**. 2021.

WANG, Zhiying et al. An empirical study on business analytics affordances enhancing the management of cloud computing data security. **International Journal of Information Management**, v. 50, p. 387-394, 2020.

CONTROLE ADAPTATIVO PID USADO EM DOIS ELOS DE UM ROBÔ DE TRÊS GRAUS DE LIBERDADE

Data de aceite: 01/12/2021

Data da submissão: 31/08/2021

José Antonio Riul

Universidade Federal da Paraíba, Centro de
Tecnologia, Departamento de Engenharia
Mecânica
João Pessoa – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1577115832986997>

Paulo Henrique de Miranda Montenegro

Universidade Federal da Paraíba, Centro de
Tecnologia, Departamento de Engenharia
Mecânica
João Pessoa – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/6068304104229234>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo o projeto de controladores adaptativos para controle de posição de dois elos de um robô de três graus de liberdade. O controle é realizado através de simulação, usando modelos dos elos obtidos com dados reais do sistema, através de estimação de parâmetros com o algoritmo dos mínimos quadrados recursivo. São projetados e implementados controladores adaptativos PID de Dahlin para o controle de posição dos dois elos. A estratégia de controle a ser usada, baseia-se em um modelo explícito do sistema. Os controladores são implementados através de um programa computacional. São mostrados como resultados as curvas de saída dos modelos dos dois elos e as curvas de saída dos elos sob ação dos controladores adaptativos.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica, Identificação de sistemas, Controle Adaptativo.

ADAPTIVE PID CONTROL USED IN TWO LINKS OF A THREE DEGREES OF FREEDOM ROBOT

ABSTRACT: This work aims to design adaptive controllers to control the position of two links of a robot with three degrees of freedom. The control is performed through simulation, using models of the links obtained with real system data, through parameter estimation with the recursive least squares algorithm. Adaptive Dahlin PID controllers are designed and implemented to control the position of the two links. The control strategy to be used is based on an explicit model of the system. The controllers are implemented through a computer program. The output curves of the models of the two links and the output curves of the links under the action of the adaptive controllers are shown as results.

KEYWORDS: Robotics, Systems Identification, Adaptive Control.

1 | INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo o modelamento linear de dois elos de um robô manipulador de três graus de liberdade (3 GDL) e o projeto de controladores adaptativos para os dois elos. Os elos 1 e 3 a serem controlados são mostrados na Figura 1. O modelo matemático de um sistema pode ser obtido através de leis físicas, conhecido como modelo caixa branca ou

por técnica de identificação paramétrica, conhecida como modelo caixa preta, que depende de dados reais do sistema.

Modelos caixa branca de robôs manipuladores são não lineares (Spong e Vidyasagar, 1989), (Craig, 1989), enquanto que a identificação caixa preta, gera modelos lineares e não lineares (Aguirre, 2000), que podem ser usados para projeto e implementação de controladores adaptativos. Os modelos caixa branca, quando utilizados em projetos de controladores, exigem uma quantidade elevada de cálculos, o que torna necessário o uso de máquinas de grande porte, tendo em vista o esforço computacional requerido (Koivo e Guo, 1983), (Shih e Tseng, 1995).

Na utilização de modelos caixa preta, suas estruturas são definidas a priori, e com isto, a escolha de modelos de primeira ou segunda ordem, que representam bem os sistemas reais, e que requerem baixo esforço computacional, são empregados.

As ações de controle adaptativo serão realizadas por dois controladores auto-ajustáveis PID de Dahlin. Os controladores da família PID constituem cerca de 90% dos instalados atualmente na indústria (Behar e Iranzo, 2003). Como resultados deste trabalho, são apresentadas curvas das respostas estimadas, obtidas com o modelamento dos dois elos do robo e curvas das respostas dos elos sobre ação dos controladores adaptativos projetados, obtidas por simulação.

2 | DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O Robô Manipulador de 3 GDL mostrado na Figura 1 é composto de duas juntas rotacionais e uma prismática.



Figura 1. Robô manipulador de três gdl

A junta 1 rotacional é acionada por um moto-reductor alimentado por um inversor de frequência e movimenta o elo 1 do robô. Este elo é uma coluna cilíndrica e tem um deslocamento angular máximo de 160° medido através de um potenciômetro. O movimento da junta 1 é transmitido para o elo 1 através de duas polias e uma correia dentada. A junta 2 rotacional é acionada por um sistema eletropneumático composto por uma válvula eletropneumática e um cilindro pneumático e movimenta o elo 2 do robô. Este elo é um perfil U e tem um deslocamento angular máximo de 45° medido através de um potenciômetro. O movimento da junta 2 é transmitido para o elo 2 através do deslocamento do pistão do cilindro pneumático. A junta 3 prismática é acionada por uma válvula eletropneumática e movimenta o elo 3 do robô que é a haste de um pistão de 500 mm de curso, de um cilindro pneumático fixado no interior do perfil U (elo 2). O deslocamento linear da haste do pistão é medido através de uma régua potenciométrica. Um computador PC é utilizado para enviar comando de acionamento ao moto-reductor através do inversor de frequência e para as duas válvulas eletropneumáticas e para receber os sinais dos sensores potenciométricos. A comunicação do robô com o computador é realizada através de duas placas de entrada e saída de dados NI USB-6009, utilizando um programa computacional nas plataformas LabView e Matlab. Considerando as características de tensão e capacidade máxima de

corrente das placas de entrada e saída de dados foi inserido um amplificador de potência para servir como fonte de suprimento aos elementos de acionamento do robô manipulador.

3 I CONTROLADOR AUTO-AJUSTÁVEL (STR)

O controlador auto-ajustável (STR) é um tipo de controlador adaptativo, que automatiza as tarefas de modelagem matemática, projeto e implementação da lei de controle. O STR é explícito quando as tarefas de modelagem matemática, projeto e implementação da lei de controle são realizadas a partir dos parâmetros estimados da planta. No STR, os parâmetros estimados do sistema são determinados e atualizados, à cada período de amostragem, através do MQR. O diagrama de blocos de um STR explícito é apresentado na Figura 2. No diagrama de blocos destacam-se duas malhas fechadas. A malha inferior composta pelo sistema e pela realimentação de saída, e a superior composta pelo estimador de parâmetros, pelo projeto da lei de controle e pelo controlador ajustável. No STR os parâmetros estimados são considerados como se fossem os parâmetros reais do sistema. Esta abordagem é baseada no princípio da equivalência à certeza (Hemerly, 1996).

Controladores como: Proporcional Integral Derivativo (PID), Proporcional Integral (PI), Proporcional Derivativo (PD), de Variância Mínima (MV), de Variância Mínima Generalizado (GMV), Linear Quadrático Gaussiano (LQG) e Controlador Preditivo Generalizado (GPC), podem ser utilizados para o projeto da lei de controle.

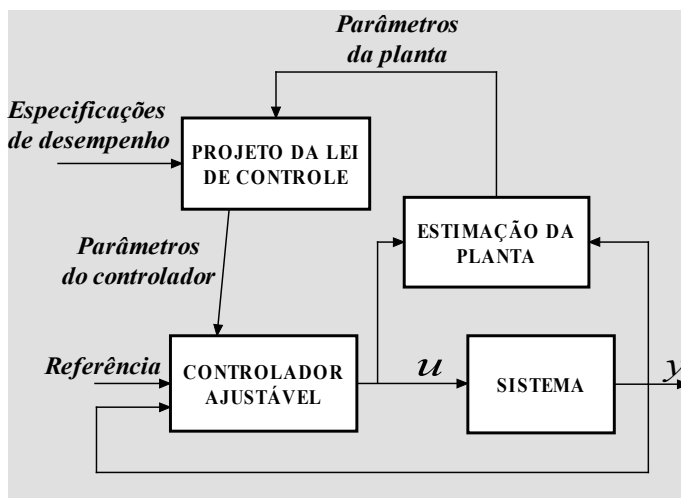


Figura 2. Diagrama de blocos do STR explícito

A estimação dos parâmetros do sistema é a essência do STR. Dentre os algoritmos aplicáveis à esta tarefa cita-se o dos mínimos quadrados recursivo (MQR) com fator de

esquecimento (Aguirre, 2000), (Ljung, 1987), (Hemerly, 1996), (Rúbio e Sánchez, 1996) e (Coelho e Coelho, 2004). Os algoritmos recursivos usam as estimativas do vetor $\theta(t)$, prevista a partir dos instantes anteriores ao instante de tempo t , para obtenção das estimativas $\theta(t + 1)$, conforme indica a Equação (1).

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + \Delta\hat{\theta}(t+1) \quad (1)$$

Um modelo paramétrico quando utilizado para projeto de controladores não representa uma descrição complexa do sistema, mas deve descrever com grande precisão as características dinâmicas essenciais para o projeto do controlador. Diversos modelos paramétricos podem ser utilizados para representar os sistemas, entre eles, o linear do tipo ARMAX, dado pela Equação (2).

$$A(z^{-1})y(t) = z^{-d}B(z^{-1})u(t-1) + C(z^{-1})e(t) \quad (2)$$

onde:

z^{-1} - operador atraso, tal que $z^{-1}y(t) = y(t-1)$;

$u(t)$ e $y(t)$ - são respectivamente o sinal de controle e a saída do sistema;

$A(z^{-1}) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{na}z^{-na}$; denominador da função de transferência do sistema;

$B(z^{-1}) = b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_{nb}z^{-nb}$; numerador da função de transferência do sistema;

$C(z^{-1}) = 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_{nc}z^{-nc}$; numerador da função de transferência do filtro auto regressivo;

$e(t)$ - ruído branco de média nula;

d - atraso de transporte do sistema;

n_a, n_b, n_c - ordem dos polinômios A, B e C.

Com $C(z^{-1}) = 1$, o modelo ARMAX, resulta no modelo ARX, que pode ser escrito conforme o modelo de regressão linear mostrado na Equação (3).

$$y(t) = \phi^T(t-1)\theta + e(t) \quad (3)$$

onde:

$$\phi^T(t-1) = [-y(t-1), -y(t-2), \dots, -y(t-n_a), u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-1-n_b)] \quad (3.a)$$

$$\theta^T = [a_1, a_2, \dots, a_{n_a}, b_0, b_1, \dots, b_{n_b}] \quad (3.b)$$

A estimação recursiva do vetor de parâmetros θ^T é regida pelas seguintes equações:

$$\theta(t) = \theta(t-1) + K(t)[y(t) - \phi^T(t)\theta(t-1)] \quad (4)$$

$$K(t) = P(t-1)\phi(t)[I - \phi^T(t)P(t-1)\phi(t)]^{-1} \quad (5)$$

$$P(t) = \frac{P(t-1)}{\lambda e} [I - K(t)\phi^T(t)] \quad (6)$$

onde :

$K(t)$ - ganho do estimador;

$P(t)$ - matriz de covariância dos parâmetros estimados;

λe - fator de esquecimento;

I - matriz identidade.

No projeto do controlador PID de Dahlin, adota-se o o modelo ARX , obtido a partir da Equação (3), e mostrado na Equação (7).

$$y(t) = y_u(t) + n(t) = \frac{z^{-d} B(z^{-1})}{A(z^{-1})} u(t-1) + \frac{1}{A(z^{-1})} e(t) \quad (7)$$

onde:

$y_u(t)$ – modelo do sistema;

$n(t)$ – modelo da perturbação.

4 I CONTROLADOR PID DE DAHLIN

A Equação (8) mostra a representação da ação de controle do controlador PID (Coelho et al, 2019).

$$G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{1}{G_p(z)} \frac{[y(t)/y_r(t)]}{[1-y(t)/y_r(t)]} \quad (8)$$

onde: $G_p(z)$ é a função de transferência do sistema, $G_c(z)$ é a função de transferência do controlador, $y(t)$ é a saída do sistema, $y_r(t)$ é a referência, $U(z)$ é a variável de controle e $E(z)$ é o erro de saída do sistema.

A proposta de projeto do controlador Dahlin, considera que o sistema em malha fechada, se comporta como de primeira ordem e com atraso de transporte, conforme Equação (9).

$$G_c(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{1}{G_p(z)} \frac{[(1-p_1)z^{-(d+1)}]}{[1-p_1z^{-1} - (1-p_1)z^{-(d+1)}]} \quad (9)$$

onde: d é o atraso de transporte.

Cada elo do robô é representado pela função de transferência discreta de segunda ordem dada pela Equação (10).

$$G_p(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{z^{-(d+1)}(b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2})}{1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}} \quad (10)$$

Substituindo Equação (10) na Equação (9), obtém-se a Equação (11) do controlador.

$$G_c(z) = \frac{(1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2})}{(b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2})} \frac{(1 - p_1)}{[1 - p_1 z^{-1} - (1 - p_1) z^{-(d+1)}]} \quad (11)$$

Dahlin considera o controlador PID na forma ideal conforme Equação (12).

$$(z) = k_c \left[\frac{(1 + T_s / T_i + T_d / T_s) - (1 + 2T_d / T_s) z^{-1} + (T_d / T_s) z^{-2}}{(1 - z^{-1})} \right] \quad (12)$$

Na Equação (11) e na Equação (12), tem-se os parâmetros conforme Equações (13) à (17).

$$k_c = -\bar{k} (a_1 + 2a_2) \quad (13)$$

$$\bar{k} = \frac{(1 - p_1)}{(b_0 + b_1 + b_2)[1 + d(1 - p_1)]} \quad (14)$$

$$p_1 = e^{\frac{-T_s}{\tau_{MF}}} \quad (15)$$

$$T_i = \frac{-(a_1 + 2a_2)T_s}{(1 + a_1 + 2a_2)} \quad (16)$$

$$T_d = \frac{-a_2 T_s}{(a_1 + 2a_2)} \quad (17)$$

onde:

T_s - tempo de amostragem;

τ_{MF} - constante de tempo desejada em malha fechada.

A Equação (12) representa o controle PID na forma discreta, e a equação a diferença que descreve o comportamento da variável de controle do sistema $u(t)$ é dada pela Equação (18).

$$u(t) = q_0 e(t) + q_1 e(t-1) + q_2 e(t-2) \quad (18)$$

onde:

$$q_0 = k_c (1 + T_s / T_i + T_d / T_s) \quad (19)$$

$$q_1 = -k_c(1 + 2T_d / T_s) \quad (20)$$

$$q_2 = k_c(T_d / T_s) \quad (21)$$

5 | RESULTADOS OBTIDOS PARA OS ELOS DO ROBÔ

Os resultados a seguir foram obtidos considerando um conjunto de dados de 1359 amostras coletadas dos dois elos do robô. As Figuras 3 e 4 mostram os sinais de entrada e saída dos elos 1 e 3 do robô, usados para o modelamento. Com o sistema em malha aberta, e utilizando o MQR considerando atraso de transporte $d = 1$ para os dois elos, foram obtidos os modelos dados pelas Equações (22) e (23), para a amostra de número 1040.

$$y_1(t) = 0,5732 * y_1(t-1) + 0,4272 * y_1(t-2) + 0,0177 * u_1(t-1) - 0,0065 * u_1(t-2) \quad (22)$$

$$y_3(t) = 1,7111 * y_3(t-1) - 0,7249 * y_3(t-2) - 0,0012 * u_3(t-1) + 0,0540 * u_3(t-2) \quad (23)$$

As Figuras 5 e 6 mostram as saídas reais e as saídas estimadas dos elos 1 e 3 do robô considerando todas amostras dos sinais reais.

As Figuras 7 e 8 mostram as saídas simuladas dos elos com os controladores adaptativos PID de Dahlin projetados, considerando-se 1300 amostras. As respostas são em malhas fechadas, para as referências sequências de pulsos. Na determinação das saídas os parâmetros dos controladores foram determinados para cada amostra. Os modelos dos elos dados pelas Equações (22) e (23), representaram o sistema real nesta fase de controle.

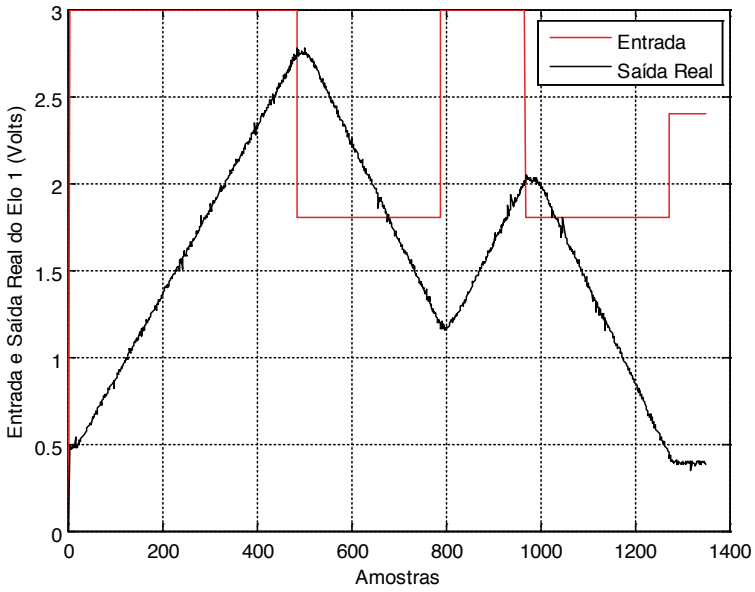


Figura 3. Sinais de entrada e saída do elo 1 do robô.

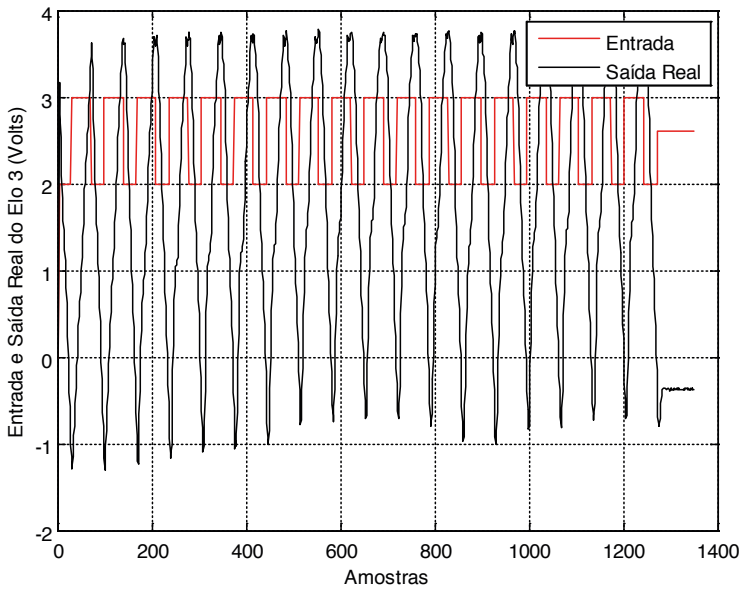


Figura 4. Sinais de entrada e saída do elo 3 do robô.

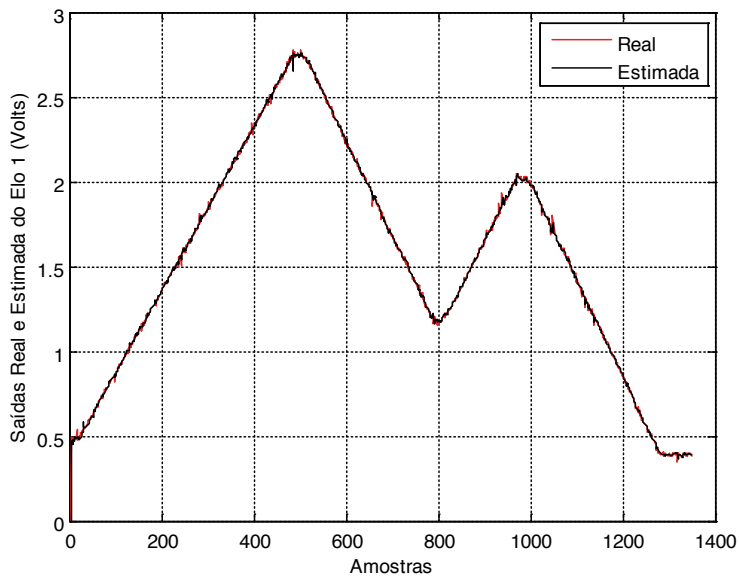


Figura 5. Saídas real e estimada do elo 1 do robô.

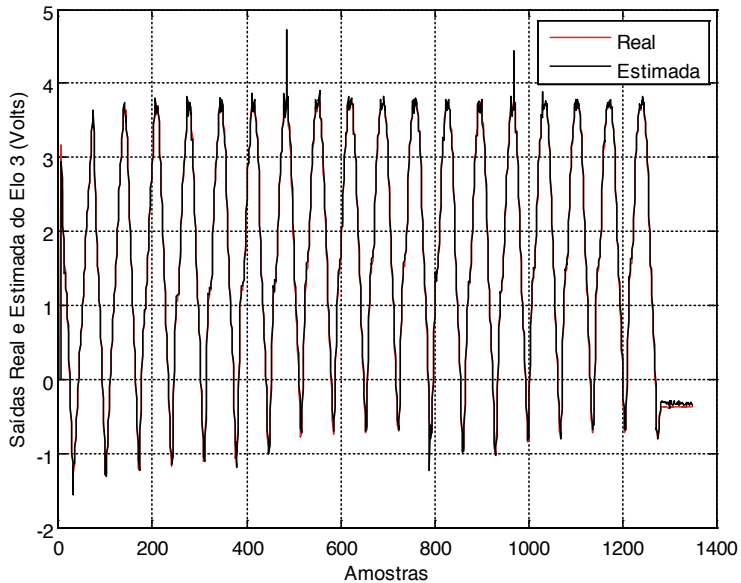


Figura 6. Saídas real e estimada do elo 3 do robô.

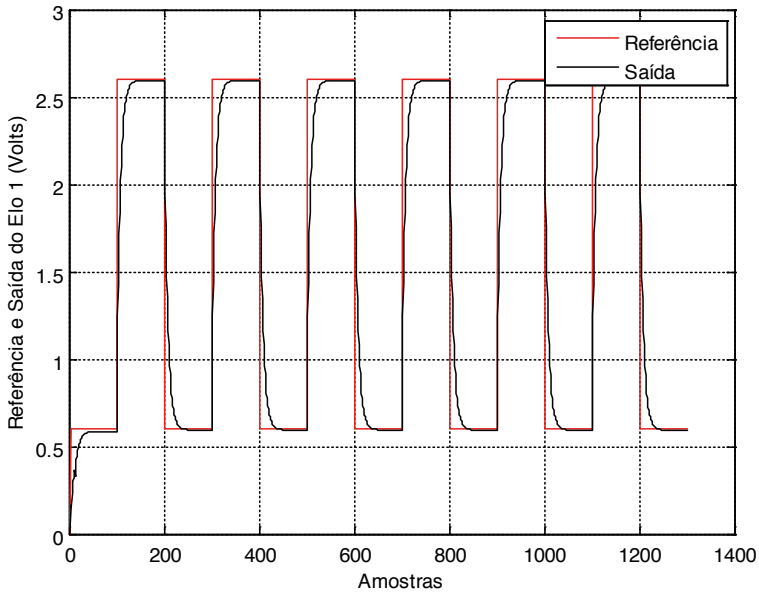


Figura 7. Saída simulada do elo 1 do robô sob ação do controlador.

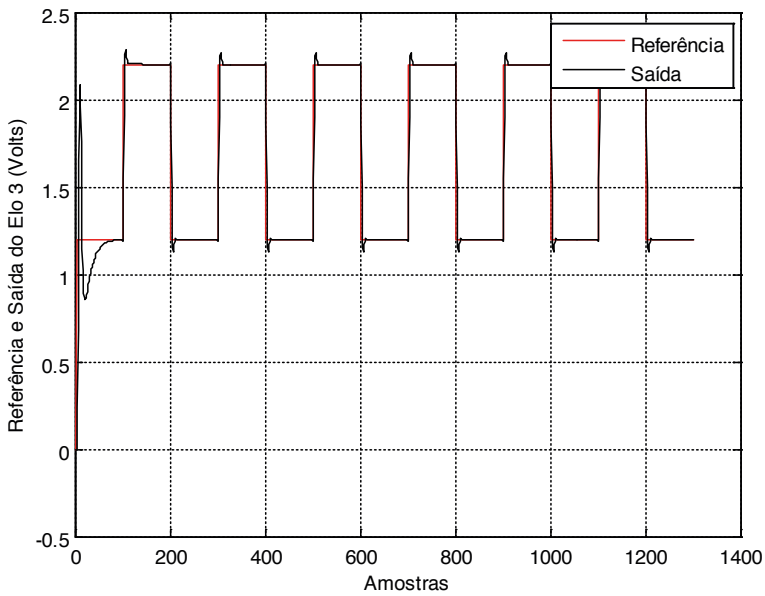


Figura 8. Saída simulada do elo 3 do robô sob ação do controlador.

6 | CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a técnica de identificação linear e o projeto e implementação de controladores PID adaptativos de Dahlin, para dois elos de um robô de três graus de liberdade. A identificação dos modelos foi realizada por meio do algoritmo MQR, considerando a dinâmica dos dois elos do robô acoplada. Os projetos dos controladores adaptativos foram realizados por meio de simulação, utilizando os modelos obtidos para os elos. A saída do elo 1 sob a ação do controlador implementado apresentou um sobre-sinal 0,2% e a do elo 3 de 4%, mostrando que os modelos obtidos foram satisfatórios na representação dos modelos dos elos do robô.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A. **Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas lineares e não-lineares aplicadas a sistemas reais**. 2ª edição. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2000.

Behar, A. A. e Iranzo, M.M. **Identificación y Control Adaptativo**. 1ª edição. Madri: Prentice Hall, 2003.

Coelho, A. A. R.; Coelho, L. S. **Identificação de Sistemas Dinâmicos Lineares**. 1ª edição. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

Coelho, A. A. R.; Jeronymo, D. D.; Araújo, R. B.. **Sistemas Dinâmicos: Controle Clássico e Preditivo Discreto**. 1ª edição. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

Craig, J. J. **Introduction to Robotics: Mechanics and Control**. 2ª edição. Addison-Wesley, 1989.

Hemerly, E. M. **Controle por Computador de Sistemas Dinâmicos**. S. Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1996.

Koivo, A. J. e Guo, T. *Adaptive Linear Controller for Robotic Manipulator*. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. AC-28, pp. 162-171, 1983.

Ljung, L. **System Identification: Theory for the User**. New Jersey: Editora Prentice – Hall Inc, 1987.

Rúbio, F.R e Sánchez, M. J. L. **Control Adaptativo y Robusto**. Espanha: Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1996.

Shih, M. C. e Tseng, S. I. Identification and Position Control of a Servo Pneumático Cylinder. **Control Engineering Practice**, v. 3, n. 9, pp. 1285-1290, 1995.

Spong, M. W. e Vidyasagar, M. **Robot Dynamics and Control**. John Wiley & Sons, 1989.

PROCESAMIENTO Y GRAFICACIÓN DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS CON RASPBERRY-PI 2 PARA LA REHABILITACIÓN DE MUÑECA

Data de aceite: 01/12/2021

Data de submissão: 04/09/2021

Mario Alberto García Martínez

Instituto Tecnológico de Orizaba, Departamento de Ing. Eléctrica-Electrónica Orizaba, Ver. México
<https://cvu.dpil.tecnm.mx/index.php/menu/>

Daniel Ivann Arias Guevara

Instituto Tecnológico de Orizaba, Departamento de Ing. Eléctrica-Electrónica Orizaba, Ver. México
<https://cvu.dpil.tecnm.mx/index.php/menu/>

Ingrid Lizette Sánchez Carmona

Instituto Tecnológico de Orizaba, Departamento de Ing. Eléctrica-Electrónica Orizaba, Ver. México
<https://cvu.dpil.tecnm.mx/index.php/menu/>

RESUMEN: Se presenta en este trabajo el diseño de una herramienta para la rehabilitación de muñeca utilizando una interfaz dinámica donde el paciente puede realizar su terapia de una forma sencilla y entretenida. Esto ayudará a los médicos a realizar la terapia más fácilmente, ya que se podrán visualizar en tiempo real los valores de las señales electromiográficas (EMG) y se tendrá el control sobre la información. Además, el sistema permite almacenar los datos de cada sesión y se pueden graficar y comparar con los datos de sesiones previas de una terapia

de rehabilitación. Como una alternativa al uso común de una computadora como procesador, en este proyecto se usa como plataforma de hardware una tarjeta Raspberry-Pi 2 como procesador de uso específico, acompañada de una tarjeta Arduino-Uno para la interacción con los sensores del tipo “*sensor muscle V3*”.

PALABRAS CLAVE: Arduino, Raspberry-Pi, rehabilitación de muñeca.

SIGNAL PROCESSING AND GRAPHING ELECTROMYOGRAPHICS WITH RASPBERRY-PI 2 FOR THE REHABILITATION OF WRIST

ABSTRACT: This work presents the design of a tool for wrist rehabilitation using a dynamic interface where the patient can perform their therapy in a simple and entertaining way. This will help clinicians to perform therapy more easily, as electromyographic (EMG) signal values can be viewed in real time and information controlled. In addition, the system allows the data of each session to be stored and can be plotted and compared with the data of previous sessions of a rehabilitation therapy. As an alternative to the common use of a computer as a processor, in this project a Raspberry-Pi 2 board is used as a processor for specific use as a hardware platform, accompanied by an Arduino-One board for interaction with sensors of the “*muscle sensor V3*” type.

KEYWORDS: Arduino, Raspberry-Pi, wrist rehabilitation.

1 | INTRODUCCIÓN

El ejercicio cotidiano de las actividades humanas implica directamente la movilidad de la muñeca como resultado del movimiento de las extremidades superiores. Esta movilidad representa el 60% de la función de estas extremidades [Coll y Cladera, 2012], siendo una de las funciones principales la flexión de la muñeca. Debido a esto, existe siempre un riesgo de deterioro debido a lesiones o enfermedades que presenta la necesidad de tratamiento médico y rehabilitación para recuperar su funcionamiento original. Cobra así una gran relevancia el uso de la rehabilitación y las técnicas que le acompañan como una solución para la restauración de una muñeca dañada [Hernández, 2018].

Una de las técnicas más utilizadas actualmente para atender este problema consiste en la adquisición de las señales electromiográficas (EMG) como un indicador del sano comportamiento del movimiento en el cuerpo humano. Estas señales son producidas como respuesta a un movimiento muscular, donde el nivel de esfuerzo está determinado por el número de fibras musculares activadas durante la contracción por una neurona. El potencial eléctrico de una unidad motora puede ser medido utilizando electrodos de aguja o de superficie [Orozco, 2005; Masin, 2016].

Existen en el estado del arte diversas propuestas para la adquisición y procesamiento de las señales EMG en diferentes partes del cuerpo y que utilizan generalmente como plataforma de hardware un procesador de uso general como lo es una computadora [Sánchez, 2007; Maier, 2008; Jamal, 2011; Cadena, 2015]. En Rangel (2017) se ha reportado una implementación que usa una tarjeta Raspberry-Pi para este propósito y que se ha utilizado como una referencia importante para este trabajo. Frente a la mayoría de las aplicaciones que usan un procesador de uso general, en este proyecto se propone el uso de un procesador de uso específico como lo es la tarjeta Raspberry-Pi 2 para el procesamiento de las señales EMG. El uso de esta tarjeta se ha popularizado durante los últimos años debido a sus importantes prestaciones, tales como son su velocidad de procesamiento, puertos físicos, tamaño, costo y la posibilidad de acceder a una diversidad de librerías de código abierto en el estado del arte.

Se presenta en este trabajo el diseño de una herramienta para la rehabilitación de muñeca utilizando una interfaz dinámica donde el paciente puede realizar su terapia de una forma sencilla y entretenida. Esto ayudará a los médicos a realizar la terapia más fácilmente, ya que se podrán visualizar en tiempo real los valores de las señales electromiográficas (EMG) y se tendrá el control sobre la información.

2 | DESARROLLO

Para la adquisición de las señales en el presente trabajo se utilizaron electrodos de superficie conectados al sensor “*muscle v3*” junto con una tarjeta Arduino unos para su

control. Como plataforma de software se usó el sistema operativo *Raspbian* y el lenguaje *Python 2.7*. Ruscitti (2018) y Pastorini (2012) han diseñado una interfaz dinámica e interactiva para el procesamiento y manipulación de las señales EMG adquiridas durante una sesión de rehabilitación usando el software *Pygame* [Norris, 2014; Rossum, 2019]. A continuación, el proceso del desarrollo se revisa a fondo.

Descripción del Hardware

En la figura 1 se presenta la metodología de este proyecto. Para la adquisición de las señales EMG se usaron las herramientas provistas por la tarjeta Arduino uno; esto permite una adquisición directa de las señales producidas por un movimiento simple de la muñeca, las cuales se podrán medir en tiempo real y graficarlas en cada sesión realizada con el paciente. En este proceso de adquisición, se ocupó un sensor electromiográfico de la marca *Maker Studio*, mostrado en la figura 2. Este sensor detecta el movimiento muscular por métodos de lectura de electrodos para diferentes músculos del cuerpo. Además, este sensor cuenta con la etapa de filtrado y amplificación necesaria para poder obtener la visualización de las señales directamente con un microcontrolador o tarjeta de desarrollo.



Figura 1 .- Metodología del proyecto.

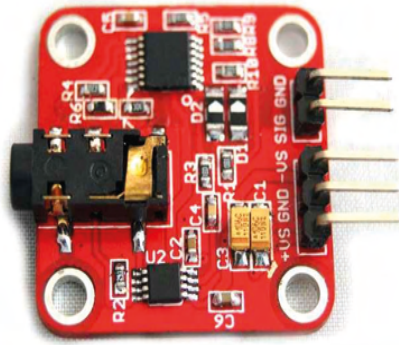


Figura 2. Muscle sensor v3

Como primera etapa del trabajo se realizó la obtención de los señales electromiográficas, para lo cual se ocupó un sensor Electromiográfico de la marca Maker Studio, el cual detecta el movimiento muscular por métodos de lectura de electrodos para diferentes músculos del cuerpo, en este caso, los músculos del brazo. Este sensor cuenta con la etapa de filtrado y amplificación necesaria para poder obtener la visualización de las señales directamente con un microcontrolador o tarjeta de desarrollo.

Posteriormente se analizaron las señales EMG obtenidas de los músculos, para esto se conectó el sensor Electromiógrafo a la placa de Arduino como se muestra el diagrama de conexión representado en la figura 3. Una vez adquiridas las señales, se trabajó con la conexión entre el Arduino y la tarjeta Raspberry-Pi 2 como se muestra en la figura 4. Se descargó el IDE (Integrated Development Environment) de Arduino y se instaló en la Raspberry-Pi para que la comunicación fuera más fácil y se adquieran las señales analógicas [Bate, 2018].

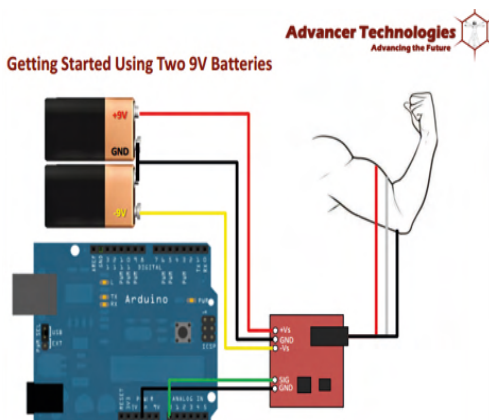


Figura 3. Conexiones del muscle sensor v3.

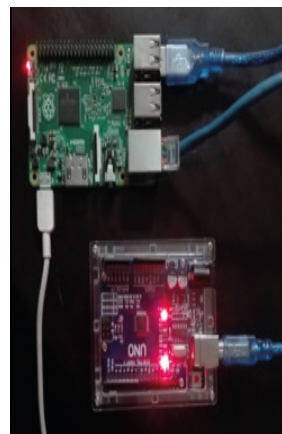


Figura 4. Conexión Arduino y Raspberry-Pi

Descripción del Software

Para el proceso de la adquisición de las señales EMG, se creó una interfaz dinámica como se puede observar en la figura 5. Para esto, se empleó la librería de *Pygame* en lenguaje *Python*, lo que permitió adquirir y procesar una o dos señales provenientes de dos sensores distintos; sin embargo, para efectos de este proyecto se empleó solamente una señal. Posteriormente, se hizo un procesamiento básico a través de un promediador para obtener una respuesta del sensor más suave.

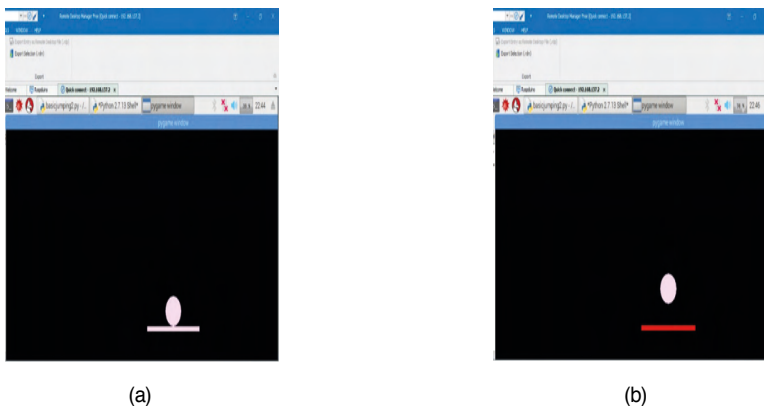


Figura 5. Interfaz dinámica: a) La pelota no está activada por ninguna señal. b) La pelota se activa porque la señal supera el rango establecido.

Esta señal o impulso se empleó para mover un objeto, con la finalidad de facilitar la terapia de rehabilitación. La interfaz sirve para un tipo de terapia de rehabilitación, la cual es la “potenciación de la mano” que para conseguir fuerza nuevamente se debe cerrar lentamente todo lo que sea posible hasta lograr “hacer puño” [Wichmann, 2016].

Otra funcionalidad que se agregó al código de programación es la de tener el control sobre la información recibida, para lo cual se buscó guardar las sesiones en un formato que permitiera su acceso sin requerir de un software especializado. Para esto se decidió guardar cada sesión de rehabilitación en archivos con formato *.txt*, esto permite que la persona que lo requiera pueda graficar la información de distintas sesiones en un software de uso general como Excel. El diagrama de flujo del código se muestra en la figura 6.

3 | PRUEBAS Y RESULTADOS

El ejercicio continuo con la interfaz visual ayuda a detectar la variación de fuerza por medio del sensor para hacer un rango del cual se pueda activar algún elemento de la interfaz y mostrar en tiempo real los valores obtenidos, como se puede observar en la figura 7. Cada vez que se utilizó la interfaz, se guardaron los datos obtenidos de las señales, como

se observa en la figura 8; después, los médicos pudieron ocuparlos en la comparación o graficación de una forma sencilla y así poder llevar un registro de las sesiones de cada paciente, como se muestra en la figura 9.

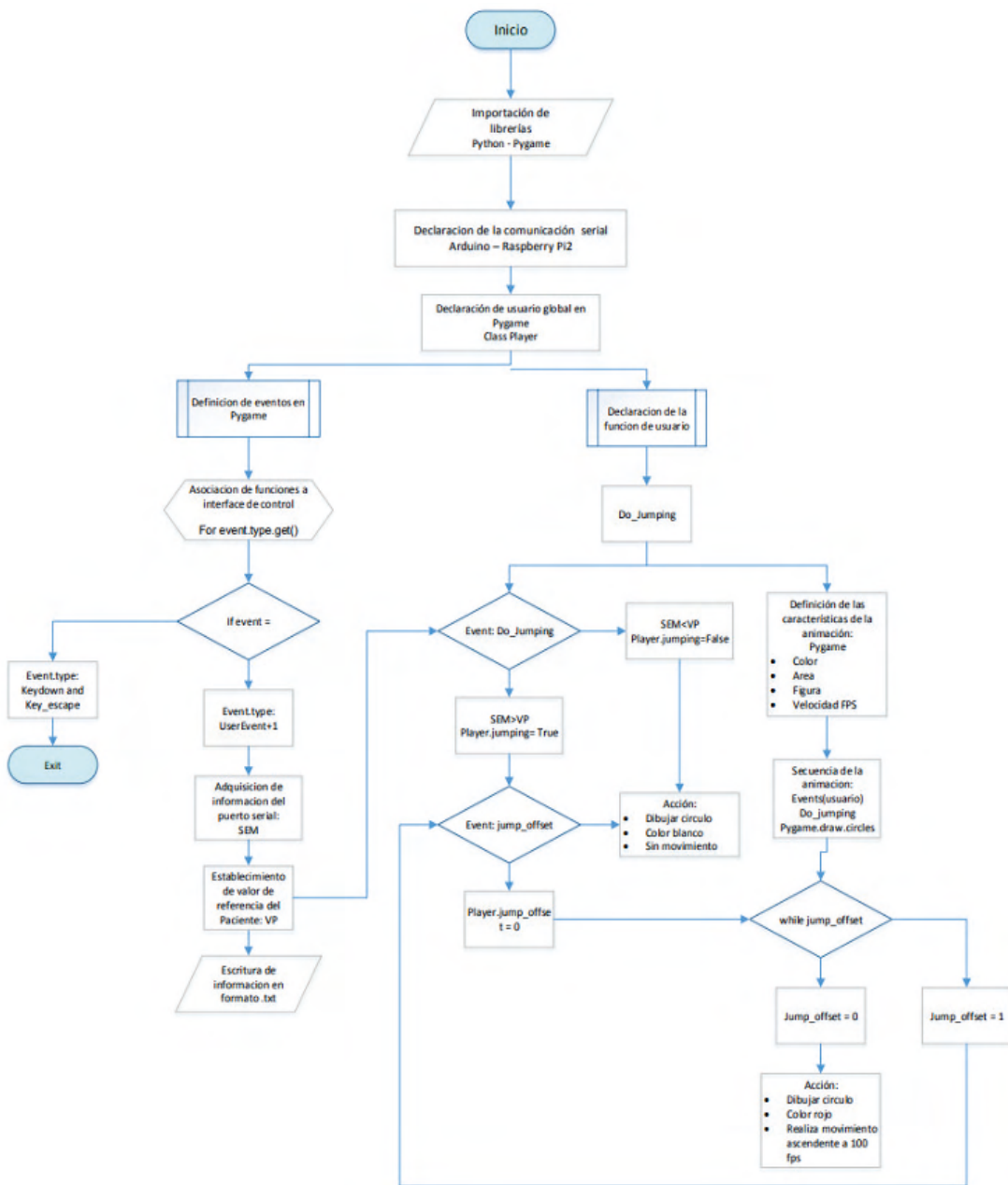


Figura 6. Diagrama de flujo del código en la Raspberry-Pi

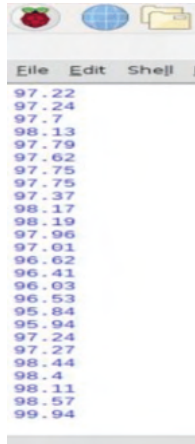


Figura 7. Valores obtenidos de señales EMG ya procesadas

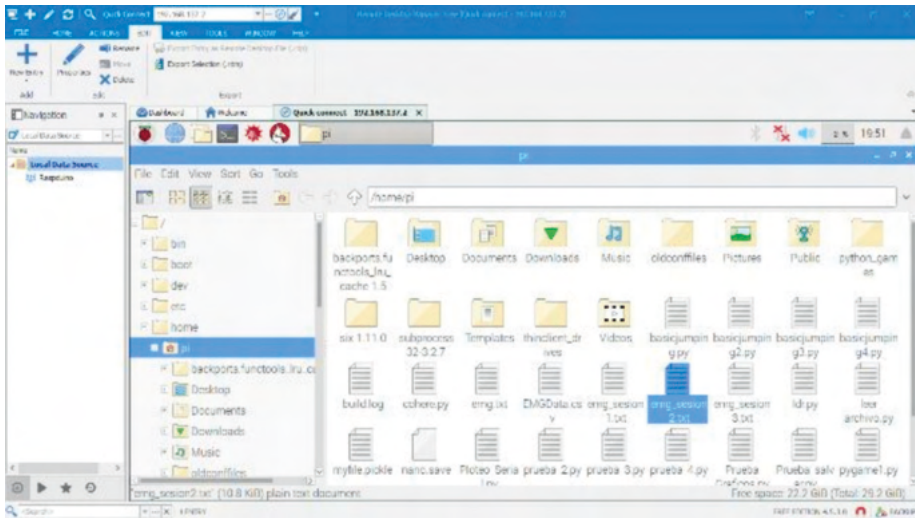


Figura 8. Archivo guardado de la sesión de rehabilitación “EMG” donde se almacenan los datos capturados por el videojuego.

El ejercicio continuó con esta herramienta. En la figura 10 se puede observar el ejercicio con la interfaz dinámica. Como antes se mencionó, ha sido desarrollada empleando la librería de *Pygame* en lenguaje *Python*, lo que ha permitido adquirir y procesar una o dos señales provenientes de dos sensores distintos; sin embargo, para efectos de este proyecto se empleó solamente una señal. Posteriormente se hizo un procesamiento básico a través de un promediador para obtener una respuesta del sensor más suave, esta señal o impulso se empleó para mover un objeto, con la finalidad de facilitar la terapia de rehabilitación. En la figura 11 se muestra el registro gráfico de dos sesiones de rehabilitación para su comparación.

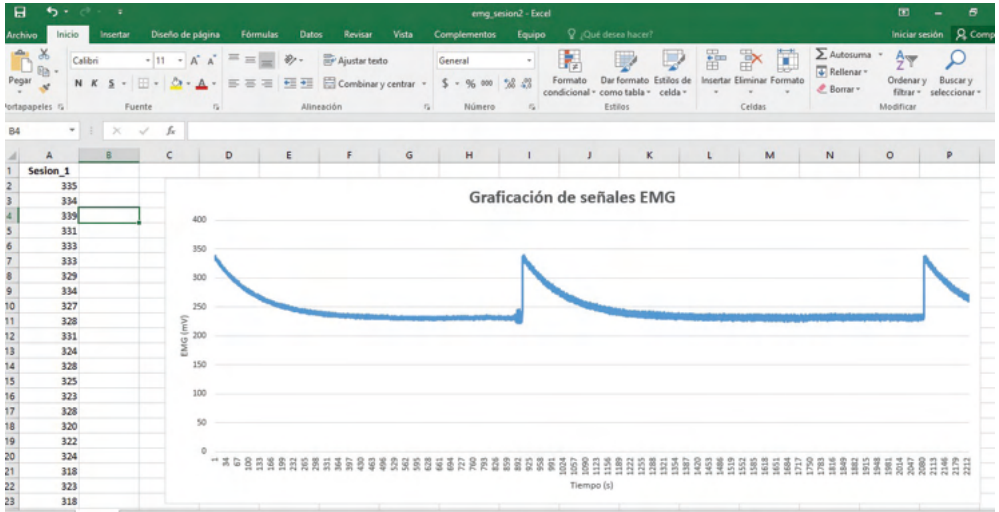


Figura 9. Graficación de resultados de la sesión de rehabilitación

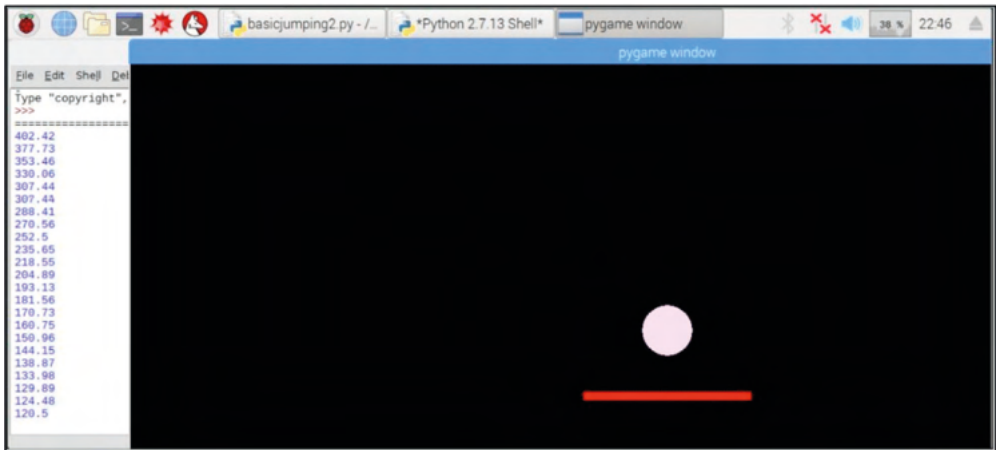


Figura 10. Ejercicio usando la interfaz dinámica

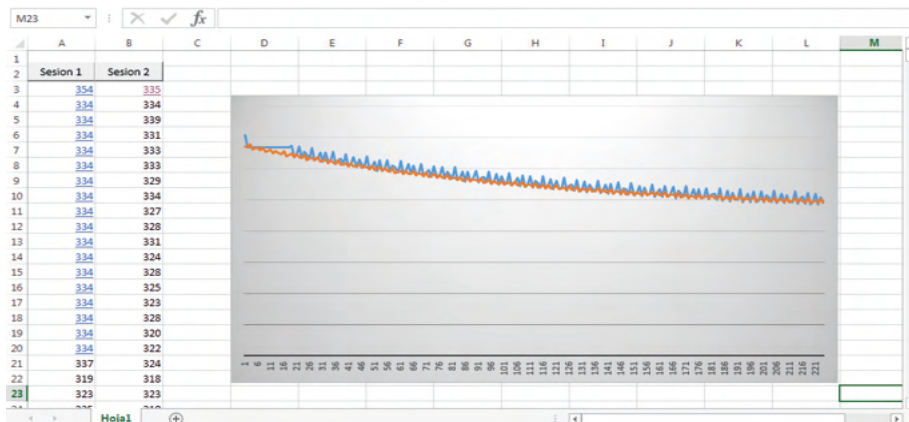


Figura 11. Graficación de dos sesiones de rehabilitación.

4 I CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se desarrolló una herramienta para la rehabilitación de muñeca utilizando una interfaz dinámica donde el paciente puede realizar su terapia de una forma sencilla y entretenida. Además, como una alternativa al uso común de una computadora como procesador, en este proyecto se usó como plataforma de hardware una tarjeta Raspberry-Pi 2 como procesador de uso específico, acompañada de una tarjeta Arduino Uno para la interacción con los sensores del tipo “*sensor muscle V3*”. La tarjeta Raspberry-Pi 2 ofrece un sistema multiplataforma el cual pudo ser adaptado a las necesidades de este proyecto. Al no contar con puertos analógicos, se recurrió al uso de una tarjeta Arduino Uno en modo esclavo, para poder realizar la transferencia de información a través de comunicación serial. El código de programación se compiló empleando diferentes librerías integradas en un mismo lenguaje, el cual para este caso, fue *Python 2.7*. Se pudo verificar la transferencia de información sin alteración aun a altas velocidades (>115200 baudios), sin embargo, dependiendo de la interfaz gráfica utilizada se requiere de la generación de un búfer para desplegar los datos sin retraso. El desarrollo del proyecto se orientó hacia la creación de una interfaz de fácil manipulación, por lo que se buscó el medio para poder acceder a la información sin requerir software especializado. El medio a través del cual fue posible lograrlo fue mediante la generación de un archivo .txt compatible con software convencional. Aprovechando las librerías de libre acceso en el estado del arte, se ha implementado esta herramienta como un apoyo para su aplicación en la rehabilitación de pacientes con daño en la muñeca. Bajo la supervisión del terapeuta, esta herramienta permitirá que el paciente tenga un indicador de su avance en la restauración de sus movimientos de muñeca.

Limitaciones y recomendaciones

Es necesario crear un modelo físico que establezca un medio estándar para la adquisición de las señales EMG. Debido a la sensibilidad de la lectura en esta herramienta,

ésta varía dependiendo de la posición de la muñeca. La interfaz dinámica puede ser integrada dentro de un solo archivo ejecutable el cual disponga de botones para realizar la función de lectura, graficación en tiempo real y guardar archivos de manera independiente.

REFERENCIAS

Bate A. **Raspberry Pi**, London, United Kingdom. Disponible: <https://www.raspberrypi.org/> accesado en mayo, 2018.

Cadena F., Sanipatin J. and Verdezoto G. “**Acquisition and Conditioning of Electromyographic Signals for Prosthetic Legs**”, *Asia- Pacific Conference on Computer Aided System Engineering*, 2015.

Correa-Figueroa L., Morales-Sánchez E., Huerta-Ruelas J.A, González-Barbosa J.J. y Cárdenas-Pérez C.R. “**Sistema de Adquisición de Señales SEMG para la Detección de Fatiga Muscular**”, *Revista mexicana de Ingeniería biomédica*, Vol. 37, No. 1, Ene-Abr 2016, pp. 17-27.

Hernández Tápanes S. Medicina de rehabilitación. “**Conceptos básicos relacionados con la rehabilitación**”. La Habana Cuba. **Disponible:** <http://www.sld.cu/sitios/rehabilitacion/temas.php?idv=615> Consultado en Junio de 2018.

Jamal Z., Waris A., Nazir S., Khan S., Iqbal J., Masood A. and Shahbaz U. (2011). “**Motor Drive using Electromyography for Flexion and Extension of Finger and Hand Muscles**”. 4th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, Vol. 3 pp. 1287-1291.

Maier S. and Van der Smagt P.(2008). “**Surface EMG suffices to classify motion of each finger independently**”. *Proceedings of MOVIC 2008*, 9th International Conference on Motion and Vibration Control.

Masin Luciano E. y Prados Lautaro E. “**Diseño, construcción y ensayo de un equipo acondicionador de señales mioeléctricas para su empleo como interface de control de actuadores**”, Universidad de Córdoba Argentina, 2016.

Norris D. “**Raspberry Pi – Android Projects for the Evil Genius**”, Mc Graw Hill, 2014.

Orozco Gutiérrez A. A., Betancourt Orozco G. A. y Giraldo Suárez E. “**Determinación de movimientos a partir de señales electromiográficas utilizando máquinas de soporte vectorial**”. Dialnet. Universidad Tecnológica de Pereira. 2005.

Pastorini A. y Martínez A. “**Introducción a Python y PyGame**”, Netbeans IDE, 2012.

Rangel Peñuelas D.R., Humblot Niño P. X., García Martínez M. A., Sandoval González O. O. y González Sánchez B. A. “**Diseño de una interfaz visual para pruebas de movilidad de muñeca con Raspberry-Pi**”. *Journal CIM*. Vol.4, Num. 1. División de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Orizaba. 2016.

Ruscitti H. “**Pygame 1.8**”, Buenos Aires, Argentina. Disponible: <http://www.losersjuegos.com.ar/traducciones/pygame> accesado el 6 de mayo, 2018.

Sanches P R, Müller A.F., Carro L., Susin A.A. and Nohama P. “**Analog Reconfigurable Technologies for**

EMG Signal Processing". *Journal of Biomedical Engineering*, Vol. 23, pp. 153-157. 2007

Van Rossum G. "**Tutorial Python**", Python Software Foundation, 2009.

Wichmann M. "**Python software foundation**", United Kingdom. Disponible: <https://www.python.org/> acessado mayo, 2018.

COMPARAÇÃO DE APIS DE OCR PARA RECONHECIMENTO DE DÍGITOS EM IMAGENS DE MOSTRADOR DE SETE SEGMENTOS

Data de aceite: 01/12/2021

Data da submissão: 06/09/2021

Jonathan Ribeiro da Silva

IFES – Coordenação de Informática
Viana – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/7538036826754459>

Leandro Colombi Resendo

IFES – Programa de Pós-graduação em
Computação Aplicada (PPComp)
Serra – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/8108487234297364>

Jefferson Oliveira Andrade

IFES – Programa de Pós-graduação em
Computação Aplicada (PPComp)
Serra – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/7138275599443632>

Karin Satie Komati

IFES – Programa de Pós-graduação em
Computação Aplicada (PPComp)
Serra – Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/9860697624155451>

RESUMO: As plataformas de computação em nuvem tornam acessível a tecnologia de reconhecimento de texto. Entretanto, a escolha da plataforma mais adequada para uma determinada aplicação nem sempre é evidente. Este trabalho avaliou cinco soluções diferentes para reconhecimento de texto: AWS Rekognition, Microsoft Azure, Cloudmersive, Google OCR e OCRSpace. Foi utilizada uma base de dados

de imagens de mostradores de sete segmentos em medidores de energia elétrica, a “YUVA EB Dataset”. Não houve pré-processamento para a melhoria da qualidade da imagem, para melhoria de iluminação ou para eliminação de ruídos. O Google Cloud apresentou melhores resultados acertando 100 resultados das 169 imagens de entrada, com acurácia de 86,5% considerando os 965 dígitos. Os resultados obtidos sugerem que as soluções oferecidas comercialmente não são adequadas para uso em produção sem uma etapa anterior de pré-processamento das imagens.

PALAVRAS-CHAVE: Rekognition. Azure cognitive services. Cloudmersive. Google Cloud. OCRSpace. Processamento de imagens. Reconhecimento de texto. OCR.

COMPARISON OF OCR APIS FOR DIGIT RECOGNITION IN SEVEN SEGMENT DISPLAY IMAGES

ABSTRACT: Cloud computing platforms make text recognition technology accessible. However, the most suitable solution for a given application is not always evident. This paper evaluated five different text recognition solutions: AWS Rekognition, Microsoft Azure, Cloudmersive, Google OCR, and OCRSpace. A database of images of seven-segment displays in electricity meters, the “YUVA EB Dataset”, was used. There was no pre-processing to improve image quality, to improve lighting or to eliminate noise. Google Cloud showed better results, hitting 100 results of the 169 input images, with an accuracy of 86.5 % considering the 965 digits. The results

obtained suggest that the use of the solutions offered commercially are not suitable for use in production without a previous stage of pre-processing of the images.

KEYWORDS: Rekognition. Azure cognitive services. Cloudmersive. Google Cloud. OCRSpace. Image processing. Text recognition. OCR.

1 | INTRODUÇÃO

O mostrador (ou *display*) de sete segmentos, como o seu próprio nome diz, é composto de sete elementos, os quais podem ser ligados ou desligados individualmente de forma que a combinação desses elementos produz representações alfanuméricas. O uso mais comum do mostrador de 7 segmentos é na representação de algarismos arábicos, embora seja possível representar algumas das letras do alfabeto romano. A Figura 1 apresenta uma das representações dos algarismos arábicos (de 0 a 9) usando o mostrador de 7 segmentos. Variações destas representações são possíveis, tal como a retirada de um dos segmentos para os dígitos 6, 7 e 9.



Figura 1. Algarismos arábicos representados em 7 segmentos

Atualmente, mostradores com dígitos de sete segmentos são encontrados em calculadoras, relógios digitais, bem como em equipamentos de vídeo e áudio. Além disso, também são usados em muitos equipamentos de medição, tais como medidores de consumo de água, vazão, termômetros e controladores de temperatura digitais na indústria e medidores de consumo de energia elétrica. Eles são uma convenção de escrita amplamente utilizada e facilmente reconhecível.

Vários equipamentos de medição, que utilizam o mostrador de 7 segmentos, que estão em atividade são antigos. Apesar de funcionarem perfeitamente, não possuem alguma forma de comunicação para transferir os dados medidos para um sistema de informação. Como em muitos casos, o custo para a troca destes equipamentos é alto, prefere-se usar soluções computacionais para o reconhecimento automático destes dígitos [Finnegan *et al.* 2019] [Bonačić *et al.*, 2020].

Destaca-se o trabalho de [Kanagarathinam and Sekar 2019]. Neste trabalho, a solução foi aplicada em medidores de consumo de energia elétrica, que dependem de interação humana para coletar os dados de medição e realizar a transferência desses dados para um sistema que possa fazer o cálculo da fatura. A troca desses aparelhos antigos por mais modernos se mostrou inviável, acarretando um custo muito alto, na parada de processos de

produção, e/ou fornecimento de serviço. Nesse trabalho, as imagens capturadas passam por operações de processamento de imagens, pelos algoritmos MSER (*Maximally Stable Extremal Regions*) e posteriormente pela operação de dilatação de imagem. Estas imagens processadas é que são avaliadas pelo OCR (do inglês *Optical Character Recognition*) do MATLAB, que reconhece caracteres em uma imagem, convertendo as imagens dos caracteres em texto. Os resultados obtidos são bem satisfatórios alcançando uma taxa de acurácia superior a 90% para maioria dos dígitos entre 0 e 9. Além disso, o trabalho disponibiliza a base de dados “YUVA EB Dataset”, que contém uma coleção de imagens de medidores digitais de energia. As imagens foram capturadas em condições de luz diurna e noturna.

Existem várias ferramentas OCR disponíveis no mercado capazes de realizar o reconhecimento de caracteres, criando opções para solucionar problemas de transferência de dados de medidores digitais. A questão de pesquisa é: será que as ferramentas de OCR de mercado teriam um resultado melhor que o trabalho [Kanagarathinam and Sekar 2019], usando a mesma base de dados?

A proposta deste trabalho é comparar ferramentas de OCR usando a base de dados “YUVA EB Dataset” sem a etapa de pré-processamento das imagens. A escolha das ferramentas foi via pesquisa Google das APIs¹ mais populares e que fossem de uso gratuito. Assim, foram selecionadas 5 APIs: (i) AWS Rekognition², (ii) Microsoft Azure³, (iii) Cloudfmative⁴, (iv) Google OCR⁵ e (v) OCRSpace⁶.

Para cada imagem da base de dados, serão coletados os resultados de cada API selecionada. As análises e comparações serão feitas levando em consideração as características da base de dados, como condição de captura das imagens, posição dos dígitos, reconhecimento do ponto decimal e dígito após o ponto decimal. Além disso, será feita a comparação com o trabalho base [Kanagarathinam and Sekar 2019].

2 | OCR

O reconhecimento óptico de caracteres é, em um sentido amplo, um ramo da inteligência artificial e também um ramo da visão computacional. No entanto, é uma disciplina distinta por direito próprio, análoga ao reconhecimento de fala. Os processos que ocorrem no OCR podem ser divididos aproximadamente em três partes: pré-processamento, extração de recursos e classificação. Sendo o pré-processamento a etapa onde o tratamento da imagem é feito, aplicando filtros para retirar ruídos e equalizar a iluminação

1 API é um conjunto de rotinas e padrões de programação para acesso a um aplicativo de software ou plataforma baseado na Web. A sigla API refere-se ao termo em inglês “*Application Programming Interface*” que significa em tradução para o português “Interface de Programação de Aplicativos”.

2 <https://docs.aws.amazon.com/rekognition/latest/dg/text-detection.html>

3 <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cognitive-services/computer-vision/concept-recognizing-text>

4 <https://cloudfmative.com/ocr-api>

5 <https://cloud.google.com/google/ocr>

6 <https://ocr.space/>

na imagem e também a definição da área de interesse da imagem. A etapa de extração de recursos ou características é onde são aplicadas técnicas para identificar os contornos dos possíveis caracteres presentes na imagem. A terceira etapa, de discriminação também conhecida como classificação, é onde são aplicados métodos para classificar os caracteres encontrados a partir das informações geradas pela extração de características na segunda etapa.

No campo de detecção de texto em imagens ainda existem muitos desafios para se obter uma boa precisão tanto para detecção de texto quanto para reconhecimento de texto. Em particular, o reconhecimento óptico de caracteres (OCR) frequentemente falha em fornecer resultados exatos. A detecção de texto precisa e eficiente em imagens de cenas naturais ainda é um problema em aberto neste campo devido às características imprevisíveis do texto da cena, se assemelhando com as complexidades do problema de resolver CAPTCHAs (do inglês *Completely Automated Public Turing tests to tell Computers and Humans Apart*, em português, Testes Automatizados de Turing para Diferenciar Humanos e Computadores) automaticamente, que envolve a extração de texto na imagem.

Muitos fatores influenciam a precisão do texto reconhecido por OCR. Esses fatores incluem resolução da digitalização, qualidade do *scanner*, tipo de documento impresso fotocopiado ou impressora a laser, qualidade do papel, complexidades linguísticas, fontes usadas no texto e dicionário usado. A iluminação não uniforme e as marcas d'água são exemplos de problemas que influenciam a precisão do OCR em comparação com um texto limpo em um fundo branco [Kanagarathinam and Sekar 2019].

A maioria das ferramentas OCR comerciais são “caixas pretas” proprietárias, não fornecendo contexto para entender seu funcionamento ou personalizar os parâmetros sob os quais operam. Desta forma, o que nos interessa é a acurácia e a aceitação dos resultados que essas ferramentas entregam.

Uma das vantagens de se utilizar ferramentas OCR comerciais é a não necessidade de estudo aprofundado sobre aprendizado de máquina, assim como o desenvolvimento de uma aplicação mais complexa para realizar o reconhecimento de caracteres baseado em padrões previamente definidos. As três principais ferramentas que estão no mercado hoje são dos grandes serviços de nuvem, AWS, Microsoft Azure e Google Cloud. A expertise em aprendizado de máquina que esses serviços possuem permite a disponibilização de diversas ferramentas de reconhecimento de padrões, reconhecimento de fala, e o objeto de estudo deste trabalho, o reconhecimento de caracteres em imagens.

A evolução das técnicas de aprendizado de máquina melhorou os resultados das ferramentas de OCR, mas ainda possuem a barreira do pré-processamento e delimitação da área a ser lida em alguns casos mais específicos. Ferramentas diferentes usam recursos e técnicas variadas, apresentando um resultado variado também.

2.1 Amazon rekognition

Amazon Web Services (AWS) é uma plataforma de serviços de computação em nuvem. Esses serviços são oferecidos sob demanda para os clientes da AWS. Com o plano de conta gratuita é possível explorar mais de 85 produtos que a AWS fornece. São ferramentas de análise, armazenamento, aprendizado de máquina, robótica, segurança entre outras.

A Nuvem AWS abrange 77 zonas de disponibilidade em 24 regiões geográficas em todo o mundo, com planos já divulgados para mais 15 zonas de disponibilidade e mais 5 regiões da AWS na Índia, Indonésia, Japão, Espanha e Suíça.

O Amazon Rekognition é uma plataforma de visão computacional baseada em nuvem que oferece serviços e ferramentas para análise de imagens e vídeos utilizando aprendizado de máquina. Através dos serviços do Rekognition é possível moderar conteúdo de páginas web, detectar texto, detectar e analisar faces, pesquisar e confirmar faces e, detectar equipamentos de proteção individual, dentre outros.

O Amazon Rekognition pode ler texto inclinado e distorcido para capturar informações como nomes de lojas, narrativas forçadas sobrepostas à mídia, placas de rua e texto na embalagem do produto. As APIs de detecção de texto de imagem e vídeo suportam a maioria das fontes, incluindo as altamente estilizadas. Depois de detectar o texto, o Amazon Rekognition cria uma representação das palavras e linhas de texto detectadas, mostra a relação entre elas e informa onde o texto está em uma imagem ou quadro de vídeo.

2.2 Azure cognitive services

O Azure é uma plataforma de serviços que fornece capacidades de processamento e armazenamento em nuvem para solucionar diversos problemas ou ampliar escopo de aplicações. Essa plataforma entrega diversas ferramentas e serviços de aprendizado de máquina, banco de dados, computação, rede, segurança e outras mais.

Dentre os vários serviços que o Azure fornece existe uma família de serviços de IA e APIs cognitivas que auxiliam em moderação, detecção de sentimentos, reconhecimento de voz, transcrita de fala em texto, pesquisa visual computacional, detecção facial, extração de texto e outros mais.

O serviço Pesquisa Visual Computacional é um serviço de IA que analisa o conteúdo de imagens e vídeos sem a necessidade prévia de conhecimento de aprendizado de máquina por parte do usuário. Nele está a função OCR para extrair texto de imagens e documentos. É possível extrair texto de imagens, como fotos de placas de veículos ou contêineres com números de série, bem como de documentos - faturas, contas, relatórios financeiros, artigos.

2.3 Cloudfmersive

A Cloudfmersive é uma empresa que desenvolve APIs e fornece como serviço para

seus clientes. A Cloudmersive traz aos seus clientes um portfólio completo de APIs em escaneamento de vírus, conversão e processamento de documentos, OCR utilizando *Deep Learning*, reconhecimento e processamento de imagens, processamento de linguagem natural, processamento de código de barras e quaisquer outras áreas-chave. A empresa entrega aos clientes esses serviços através de um modelo de planos e preços, oferecendo também suporte. A API de reconhecimento de texto utiliza *Deep Learning* para converter imagens, fotos de documentos e formulários, em texto. Isso é feito com suporte a mais de 90 idiomas.

2.4 Google cloud

A GoogleCloud é uma plataforma de computação oferecida pelo Google, compartilhando a mesma infraestrutura que a empresa utiliza para seus produtos oferecidos ao usuário comum, como o Google e o Youtube. A plataforma oferece diversos produtos em nuvem, dentre eles os que mais se destacam são os de processamento através de máquinas virtuais, armazenamento de objetos, serviço de banco de dados, reconhecimento de fala e transcrição e processamento visual (Vision AI). A API Vision do Google Cloud oferece modelos avançados de aprendizado de máquina pré-treinados por meio das APIs REST e RPC, fornecendo serviços de detecção de objetos, detecção de faces e reconhecimento de texto, dentre outros.

2.5 OCRSPACE

A OCRSpace fornece serviços de conversão de digitalizações ou imagens de documentos de texto em arquivos editáveis usando o reconhecimento ótico de caracteres. O serviço online é gratuito para usar, não tem necessidade de registro.

Entretanto, o serviço via API necessita de cadastro, e possui planos de uso, sendo um deles o plano gratuito, mas com limites de chamadas por mês.

A API OCR fornece uma maneira simples de analisar imagens e documentos PDF de várias páginas (PDF OCR) e obter os resultados de texto extraídos retornados em um formato JSON. A API OCR tem três camadas/níveis. O plano de OCR API gratuito tem um limite de taxa de 500 solicitações em um dia por endereço IP para evitar spam acidental.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção serão detalhadas as características da base de imagens “YUVA EB Dataset”, bem como o desenvolvimento do ambiente de testes usando as ferramentas de OCR.

3.1 Base de imagens “yuva eb dataset”

O conjunto de dados utilizado neste trabalho tem o nome “YUVA EB Dataset”⁷ o mesmo utilizado em [Kanagarathinam and Sekar 2019]. Esta base de dados consiste em

⁷ Disponível em https://drive.google.com/drive/folders/1J9TYUiLKdJKfSeotL-_ElyvXQ-3pE282

uma coleção de imagens de telas de medidores digitais de energia de sete segmentos, coletadas na região de Tamil Nadu na Índia. As imagens presentes nessa base de dados estão todas no formato JPG, também conhecido como JPEG, é um formato comum para fotografias digitais por armazenar imagem em quantidade menor de bytes.

As imagens estão divididas em subconjuntos de acordo com as condições de captura, diurna, noturna, inclinada e baixa resolução. A base de dados tem um total de 169 imagens, divididas da seguinte forma: base *Day Time* com 50 imagens capturadas à luz do dia, base *Night time* 49 noturnas, base *Tilted* com 50 imagens inclinadas, e base *Blurred* com 20 imagens desfocadas, alguns exemplares são mostrados na Figura 2, Figura 3, Figura 4 e Figura 5 respectivamente. As imagens noturnas, diurnas e inclinadas foram capturadas usando uma câmera digital no modo de alta resolução e as imagens de baixa resolução capturadas no modo de baixa resolução. Pelas imagens, é possível verificar que a cor do fundo varia entre várias cores: verde, laranja, lilás, azul, em todas as cores apresentam diferentes intensidades.



Figura 2. Exemplos de imagens capturadas à luz do dia.



Figura 3. Exemplos de imagens capturadas à noite.



Figura 4 Exemplos de imagens inclinadas



Figura 5. Exemplos de imagens de baixa resolução.

Todas as imagens dos medidores, além dos dígitos da medida, contêm outras informações/caracteres, tais como “kWh”, às vezes a palavra “CUM”, esses caracteres não são considerados para a avaliação de reconhecimento de caracteres. Todas as amostras dos medidores têm o ponto decimal antes do último dígito, e em muitas amostras este último dígito está em tamanho menor. Mesmo em tamanho menor, este dígito será considerado na avaliação do OCR. A quantidade de dígitos varia por imagem. Há uma predominância de telas que apresentam 5 dígitos sendo 74 amostras de imagens, e apenas 8 amostras de imagens com 8 dígitos. Não há imagens com menos de 4 dígitos, nem com mais de 8 dígitos.

3.2 Ambiente de experimentos

Para o processamento das imagens foi desenvolvido um projeto em .NET Core do tipo “Console Application”, o projeto se encontra no GitHub⁸. Na Figura 6 é possível ver o diagrama de classes da aplicação, mostrando as relações entre as classes. Basicamente a aplicação consiste em uma classe **Program** que chama cada serviço OCR.

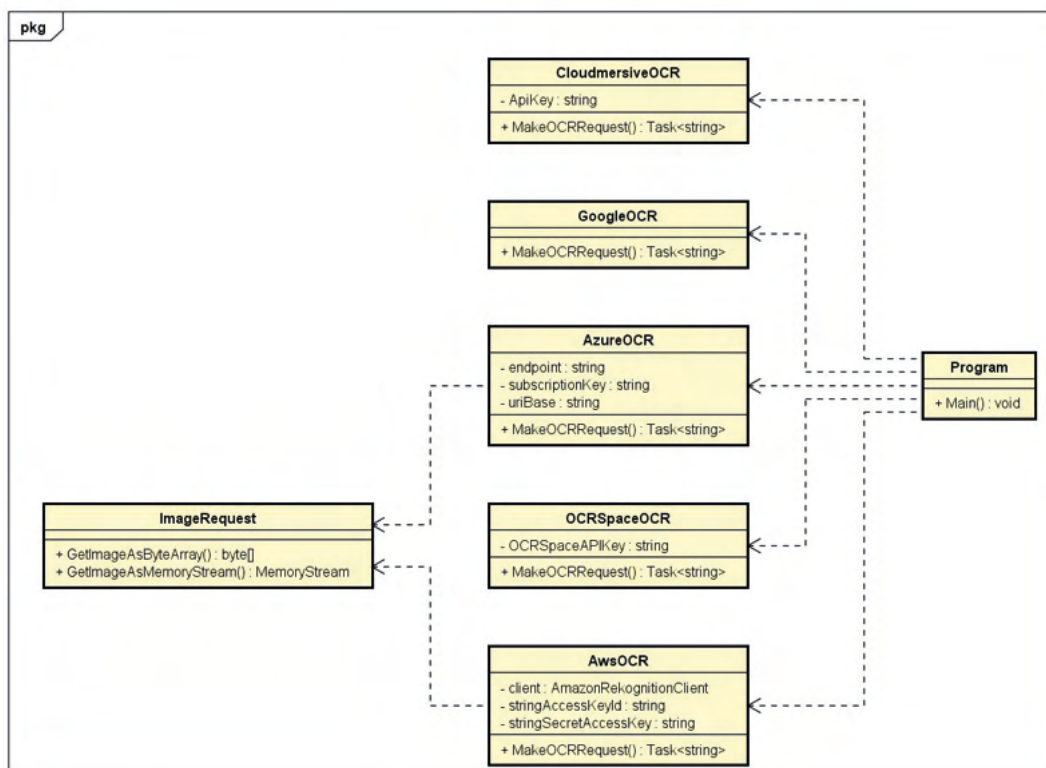


Figura 6. Diagrama de Classes da Aplicação de Testes.

⁸ <https://github.com/JonathanRibeiro92/OCRComparer.git>

Para cada arquivo de imagem processado é criado um caminho de arquivo de resultado por serviço consultado, isto é uma pasta específica para cada API seguindo o mesmo padrão de nomenclatura do caminho da base de dados, uma pasta para cada condição de captura de imagem. A aplicação realiza as chamadas às APIs que fornecem o serviço OCR e armazena os resultados em formato JSON, e depois armazena os arquivos de resultado utilizando os caminhos de pasta de resultados montados anteriormente.

Serviço OCR	Formatos aceitos	Suporte às tecnologias	Custo
AWS	Arquivos PDF, JPEG, PNG. Vídeos armazenados no próprio serviço	REST, Javascript, Python, PHP, .NET, Ruby, Java, Go, Node.js, C++	Nível Gratuito 12 meses 5.000 imagens por mês
Azure	PDF, TIFF, JPEG, PNG, BMP	REST, .NET, Python, Java, Node.js, Go	Gratuito até 5.000 transações por mês
Cloudmersive	PNG, JPEG	REST, .NET, Java, Node.js, Python, PHP, Objective-C, Ruby, Zapier	Gratuito até 800 transações por mês
Google Cloud	Documentos PDF e TIFF, Imagens codificadas em base64	REST, C#, Go, Java, Node.js, PHP, Python, Ruby	Gratuito para primeiras 1.000 imagens por mês
OCRSpace	PDF, JPG, GIF, PNG	Rest, C#, C++, Java, Javascript, Node.js, PHP, Python, Ruby, Swift, Objective-C	Gratuito para até 25.000 requisições no mês, com restrição de 500 por dia

Tabela 1. Relação dos Serviços OCR escolhidos

Para facilitar a comparação das cinco ferramentas selecionadas para este trabalho, um resumo das características é apresentado na Tabela 1. A primeira coluna da tabela tem o nome do serviço/ferramenta, seguido pelos formatos aceitos, quais as tecnologias suportadas e o custo. Todas as ferramentas são gratuitas, mas cada uma apresenta uma limitação diferenciada, determinando restrições de uso.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos experimentos será feita comparando os erros na identificação dos dígitos presentes na tela do medidor de energia entre cada serviço. Entende-se como erro qualquer dígito não identificado, ou identificado erroneamente. Por exemplo, para um *display* com o número “03525.9”, foram considerados corretos os resultados: “03525.9” ou “035259” ou “035259*” ou “035259kW” ou “035:259” ou “035 259” ou “03525 9kW”. Isto é, o ‘.’ (ponto decimal) pode ou não ser reconhecido, mas ainda se conta como correto; a inclusão de um ou mais caracteres (podendo ser um espaço em branco ou caracteres especiais) no meio ou após a sequência de dígitos, também foi considerado correto. Foi considerado incorreto “35259”, pois não reconheceu o ‘0’ (zero) à esquerda. Na base de imagens não está presente um gabarito para verificação dos dígitos de cada imagem, então para a comparação e verificação dos resultados foi feita de forma manual, comparando cada resultado com os dígitos presentes na imagem original. O desempenho geral das

ferramentas testadas é apresentado na Figura 7. A ordem de apresentação foi a mesma ordem dos experimentos realizados.

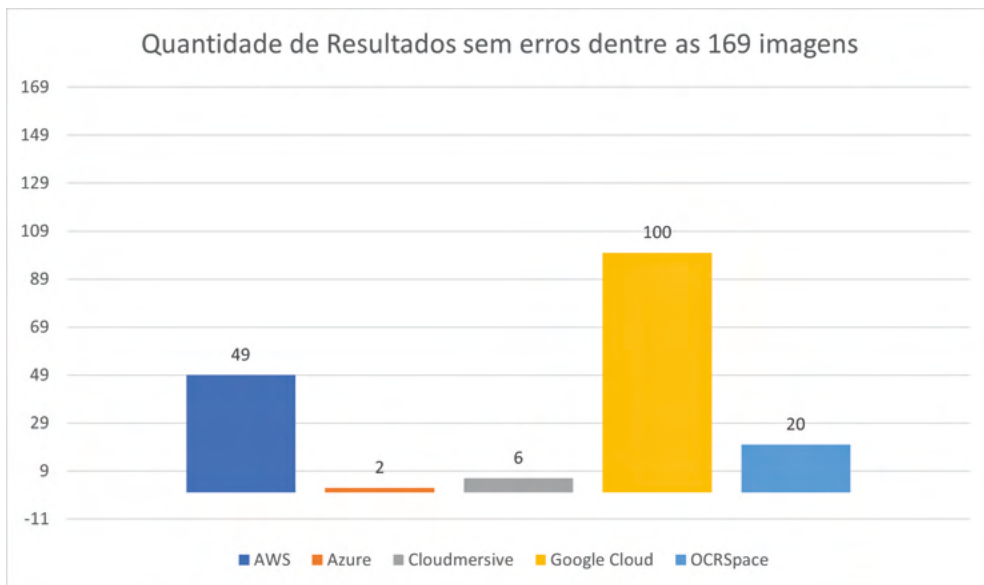


Figura 7. Gráfico de resultados sem erros por ferramenta.

Fazendo uma análise geral das ferramentas comparando os resultados sem erros, o melhor resultado foi do Google Cloud com 100 acertos dentre as 169 imagens da base de dados (59,17% de acerto), o segundo foi a AWS com 49 imagens que tiveram todos os dígitos identificados corretamente (28,99%), OCRSpace com 11,83% de acertos (20 das 169 imagens), o Cloudmersive com 6 reconhecimentos corretos (3,55% de acerto) e a AZURE com apenas 2 imagens (1,18% de acerto).

4.1 Comparação por dígito

Nesta seção a análise de erros será contada de forma diferenciada que foi na Figura 7. Nesta análise, serão contabilizados os acertos de cada reconhecimento, assim, se na seção anterior a população total era de 169 imagens, nesta seção, a população total é de 985 dígitos. Assim, para o número “035259”, se a resposta for “03525” ou “35259” ou “085259”, a contagem é de 1 (um) erro, em “03525” faltou o dígito ‘9’ no final, em “35259” faltou o ‘0’ no início, em “085259” houve a troca do ‘3’ pelo ‘8’, mas conta-se um acerto para os dígitos ‘0’, ‘2’ e ‘9’ e dois acertos para o dígito ‘5’. O resultado, tanto por dígito e por ferramenta de OCR, é apresentado na Tabela 2, valores maiores que 75% foram marcados em negrito.

De novo, Google Cloud teve um melhor desempenho apresentando uma quantidade

maior de acertos que as demais ferramentas, tanto no geral (acurácia de 86,5%, acertando 852 dígitos dos 985), quanto por dígito (o percentual de acerto foi maior que 75% em todos os dígitos). O Google Cloud erra mais o dígito '1' que os demais, pois muitas das vezes responde como o dígito '7', e acerta mais o dígito '5'. Em segundo lugar, segue o AWS (68,2% de taxa de acerto no geral) e em terceiro o OCRSpace (42,84%). O pior resultado foi da Azure que apresentou um número de acertos consideravelmente baixo (apenas 50 dos 985, taxa de acerto de 5,08%) seguido do Cloudmersive (234 dos 965, taxa de acerto de 23,76%).

Dígitos	Total Dígitos	Serviço									
		AWS		AZURE		Cloudmersive		Google Cloud		OCRSpace	
		Acertos	%acerto	Acertos	%acerto	Acertos	%acerto	Acertos	%acerto	Acertos	%acerto
0	243	134	55,14%	8	3,29%	52	21,40%	209	86,01%	81	33,33%
1	108	57	52,78%	8	7,41%	26	24,07%	83	76,85%	26	24,07%
2	101	85	84,16%	2	1,98%	30	29,70%	91	90,10%	49	48,51%
3	113	81	71,68%	5	4,42%	19	16,81%	103	91,15%	58	51,33%
4	85	70	82,35%	4	4,71%	18	21,18%	75	88,24%	39	45,88%
5	69	57	82,61%	10	14,49%	30	43,48%	63	91,30%	41	59,42%
6	53	29	54,72%	2	3,77%	18	33,96%	46	86,79%	30	56,60%
7	68	42	61,76%	1	1,47%	19	27,94%	54	79,41%	27	39,71%
8	62	47	75,81%	4	6,45%	15	24,19%	56	90,32%	23	37,10%
9	83	70	84,34%	6	7,23%	7	8,43%	72	86,75%	48	57,83%
Total	985	672	68,22%	50	5,08%	234	23,76%	852	86,50%	422	42,84%

Tabela 2. Performance das ferramentas em relação aos dígitos por serviço

4.2 Comparação por condição de captura

Esta análise é feita levando em consideração as condições em que a imagem foi capturada: Luz do Dia, Noturna, Inclinada ou Baixa Resolução. A Tabela 3 apresenta um comparativo do percentual de acertos de cada uma das ferramentas, valores acima dos 75% foram marcados em negrito.

Serviço	Luz do Dia (%)	Noturna (%)	Inclinada (%)	Baixa Resolução (%)
AWS	80,65	83,00	39,86	71,30
AZURE	5,38	5,67	4,12	5,22
Cloudmersive	29,39	27,33	18,90	13,04
Google Cloud	87,81	84,00	91,41	77,39
OCRSpace	43,01	51,33	42,96	20,00

Tabela 3. Percentual de acertos por tipo de condição na captura da imagem, considerando os 985 dígitos

Os dados confirmam que o Google Cloud é melhor em todas as condições, e apresentam os melhores resultados em imagens inclinadas. Na base Noturna, a diferença com relação ao AWS é bem pequena equivalente à uma única imagem. O AWS tem bons

resultados nas bases de Luz do Dia e Noturna, mas tem baixa taxa de acerto para a base Inclinada e na de Baixa Resolução. De uma forma diferente, o AWS reconhece mais corretamente as imagens noturnas do que as diurnas, supõe-se que essa ferramenta lide melhor com menos incidência de luz. Apesar da primeira impressão ser de que as imagens de Baixa Resolução teriam um resultado pior em todas as ferramentas, percebe-se que isso não é verdadeiro para o AWS.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram abordadas as ferramentas da AWS Rekognition, Microsoft Azure, Cloudmersive, Google OCR e OCRSpace. O reconhecimento de caracteres em imagens é muito útil em diversos cenários, sendo uma delas a que foi abordado neste trabalho que é quando o parque instalado é tão grande que o custo de substituição por equipamentos mais modernos com interface de comunicação torna a troca de equipamentos praticamente inviável. A ferramenta que possui um desempenho melhor dentre as cinco avaliadas é a da Google Cloud, o Google OCR, com taxa de acerto geral de 86,5% considerando cada dígito ou 59,17% considerando a imagem como um todo. O pior resultado foi da ferramenta da AZURE com taxa de acerto de apenas 5,08% considerando cada dígito ou 1,18% considerando a imagem como um todo (acertou o *display* completo de apenas duas imagens da base de dados).

Quando os resultados dessas ferramentas são comparados com resultados de [Kanagarathinam and Sekar 2019] (93,17%) por dígito, em que há o desenvolvimento de um pré-processamento de imagens e de um sistema de aprendizado de máquina treinado na mesma base de dados, a diferença é muito discrepante, o mais próximo é o Google Cloud com 86,50% de acurácia. As ferramentas comerciais testadas aqui não tiveram como entrada imagens pré-processadas, nem foi realizado treinamento das ferramentas usando as imagens da base de dados.

Com isso, considera-se que utilizar as ferramentas de reconhecimento de imagens sem um pré-processamento pode não ser uma boa opção quando é necessário realizar análises mais assertivas como a captação de dados de medição. Uma abordagem em que o usuário possa fazer a delimitação de área, por exemplo, em que o usuário indicasse o local correto (por exemplo, movendo um retângulo) em um aplicativo de celular provavelmente melhoraria em muito os resultados dos OCRs analisados.

REFERÊNCIAS

ANDA, F., LILLIS, D., LE-KHAC, N., and SCANLON, M. (2018). **Evaluating automated facial age estimation techniques for digital forensics**. In Proceedings of 2018 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW), pages 129–139. IEEE.

BONAČIĆ, I., HERMAN, T., KRZANAR, T., MANGIĆ, E., MOLNAR, G., and ČUPIĆ, M. (2015). **Optical character recognition of seven-segment display digits using neural networks**. In 32st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics, volume 3.

FINNEGAN, E., VILLARROEL, M., VELARDO, C., and TARASSENKO, L. (2019). **Automated method for detecting and reading seven-segment digits from images of blood glucose metres and blood pressure monitors**. Journal of Medical Engineering & Technology, 43(6):341–355.

KANAGARATHINAM, K. and SEKAR, K. (2019). **Text detection and recognition in raw image dataset of seven segment digital energy meter display**. Energy Reports, 5:842–852.

TORRES, W., VAN DEN BRAND, M. G., and SEREBRENIK, A. (2020). **Suitability of optical character recognition (ocr) for multi-domain model management**. In International Conference on Systems Modelling and Management, pages 149–162. Springer.

SOBRE A ORGANIZADORA

MA. LILIAN COELHO DE FREITAS- Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA). Possui graduação em Engenharia da Computação pela Universidade Federal do Pará (2007) e mestrado em Computação Aplicada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UFPA, obtido em 2009. Em 2008, realizou estágio de mestrado no Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores (INESC/Porto - Portugal). Atuou como pesquisadora membro do Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado (LEA/UFPA) de 2004 a 2014 e do Laboratório de Sensores e Sistemas Embarcados (LASSE/UFPA) de 2008 a 2012. Atuou como Pesquisadora Visitante no *Georgia Institute of Technology* (Atlanta, Georgia, Estados Unidos), no período de Março/2012 a Fev/2013. Tem diversos trabalhos publicados, envolvendo publicações em livros, revistas e eventos científicos. Seus interesses de pesquisa são: telecomunicações (comunicações sem fio, rádio cognitivo) e *machine learning* e educação.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aplicativo 23, 25, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 82, 91
Arduino 23, 25, 26, 27, 28, 32, 34, 69, 70, 71, 72, 77
Azure cognitive services 80, 81, 84

C

Cambio climático 1, 2
Cereal básico 1, 2, 3, 4
Cloudmersive 80, 81, 82, 84, 85, 88, 89, 90, 91
Comunicação sem fio 23, 24, 25
Controle Adaptativo 3, 57, 58
Controle de temperatura 3, 23, 24, 25, 30, 31, 32, 33

D

Daño a cultivo 1

E

Energia Solar Fotovoltaica 10

F

Fontes Alternativas de Energia 10
Fundos de investimento 35, 36, 37, 38, 39, 48, 54, 55

G

Google Cloud 45, 80, 81, 83, 85, 88, 89, 90, 91

I

Identificação de sistemas 57, 68
Inovação 23, 25, 32, 33

M

Modelo Computacional 10, 11, 13, 14, 16, 19, 20

O

OCR 82, 92
OCRSspace 80, 81, 82, 85, 88, 89, 90, 91

P

Perfil de investidor 35, 40, 45, 46

Placa de desenvolvimento 23, 26

Processamento de imagens 80, 82, 85, 91

R

Raspberry-Pi 4, 69, 70, 72, 74, 77, 78

Reconhecimento de texto 80, 83, 85

Redes Neurais Artificiais 2, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21

Rehabilitación de muñeca 4, 69, 70, 77

Rekognition 80, 81, 82, 84, 91

Robótica 57, 84

S

Sistema eletrônico agnóstico 35, 54

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:





ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 4

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 4

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br