INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

LEONARDO GONÇALVES ROSA

RETROFITTING DE ESTEIRA DE USO HUMANO PARA TESTES ERGOMÉTRICOS EM RATOS E CAMUNDONGOS DE LABORATÓRIO

Florianópolis - SC

2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA - CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECATRÔNICA

LEONARDO GONÇALVES ROSA

RETROFITTING DE ESTEIRA DE USO HUMANO PARA TESTES ERGOMÉTRICOS EM RATOS E CAMUNDONGOS DE LABORATÓRIO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro em Mecatrônica.

Professor Orientador: Valdir Noll, Dr.

FLORIANÓPOLIS, JULHO DE 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rosa, Leonardo Gonçalves
Retrofitting de Esteira de Uso Humano para Testes Ergométricos em Ratos e Camundongos de Laboratório / Leonardo Gonçalves Rosa; orientação de Valdir Noll. - Florianópolis, SC, 2022.
70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Mecatrônica. Departamento Acadêmico de Metal Mecânica.
Inclui Referências.

1. Controle de Velocidade. 2. Retrofitting. 3. Murinos. 4. Esteira. I. Noll, Valdir. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Retrofitting de Esteira de Uso Humano para Testes Ergométricos em Ratos e Camundongos de Laboratório.

RETROFITTING DE ESTEIRA DE USO HUMANO PARA TESTES ERGOMÉTRICOS EM RATOS E CAMUNDONGOS DE LABORATÓRIO

LEONARDO GONÇALVES ROSA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro em Mecatrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Mecatrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 29 de Julho de 2022.

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
VALDIR NOLL
Data: 16/08/2022 11:56:04-0300
CPF: 425.839.000-30
Verifique as assinaturas em https://v.ifsc.edu.br

Prof. Valdir Noll, Dr.

Orientador

Documento assinado digitalmente
Mauricio Edgar Stivanello
Data: 16/08/2022 12:07:34-0300
Verifique em https://verificador.iti.br

Prof. Maurício Edgar Stivanello, Dr.

Membro Titular

DEBORAH DE CAMARGO HIZUME KUNZLER:19509900877
Assinado de forma digital por DEBORAH DE CAMARGO HIZUME KUNZLER:19509900877
Dados: 2022.08.17 14:31:41 -03'00'

Profa. Deborah de Camargo Hizume Kunzler, Dr.

Membro Titular

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE CURSO

Declaro que o estudante LEONARDO GONÇALVES ROSA, matrícula nº 142005098-2, do curso de ENGENHARIA MECATRÔNICA, defendeu o trabalho intitulado *RETROFITTING* DE ESTEIRA DE USO HUMANO PARA TESTES ERGOMÉTRICOS EM RATOS E CAMUNDONGOS DE LABORATÓRIO, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Florianópolis, 29 de julho de 2022.

IFSC
Documento assinado digitalmente
VALDIR NOLL
Data: 16/08/2022 11:57:22-0300
CPF: 425.839.000-30
Verifique as assinaturas em https://v.ifsc.edu.br

Prof. Orientador do TCC: Valdir Noll

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por me conceder o dom da vida e poder desfrutar desse plano a qual estamos.

Agradecer aos meus pais, que desde sempre me incentivaram a ser feliz, independente do que os outros poderiam falar e nunca me falaram que não iriam me apoiar em fase alguma de minha vida. Graças a eles, hoje estou aqui escrevendo esse agradecimento no trabalho de conclusão de curso da minha graduação. A vida inteira eles trabalharam para me dar de tudo e do melhor nas condições deles, graças a eles nunca faltou nada em nossa mesa, nada em meus estudos, sempre estudei em colégios particulares, fiz cursos de inglês, música, informática, sempre que queria fazer algo sempre me apoiaram mesmo que seria uma conta a mais a pagar. Gostaria que todo filho tivesse pais como eles, pois todo apoio, todo esforço, todo amor que me proporcionaram é fora do igual e serei eternamente grato por tudo. Esse título será meu, mas sem vocês seria impossível, ou seja, será nosso. Só tenho a agradecer e dizer que os amo.

Meus avós, João e Paulina (in memoriam), que infelizmente não puderam me ver concluir essa graduação, mas sempre tiveram muito orgulho do neto que eles tinham, e sempre me deram o maior apoio emocional que um neto poderia receber. Suas partidas foram muito dolorosas, e ainda são, mas sei que um dia iremos nos encontrar novamente e poderemos ficar um pouco de tempo mais juntos. Não me arrependo de nada, pois aproveitei ao máximo o tempo com vocês enquanto eu pude.

A minha avó Valda, que está sempre ao meu lado, vem todos os dias me ver e fica me observando, enquanto eu estudo, trabalho e alcanço meus objetivos, sempre com um orgulho que é possível ver em seus olhos. Com certeza é uma das pessoas que eu mais gosto de passar o tempo, ainda mais por ser minha única avó que ainda está ao meu lado e quero aproveitar cada pedacinho de tempo com você.

A minha madrinha Lena e minha tia Tereza, que são pessoas muito especiais pra mim e sempre me motivaram a crescer e ser quem eu sou, muito obrigado por tudo que fizeram por mim.

Agradecer aos meus melhores amigos, Christian por estar sempre ao meu lado, sempre ajudando, dando apoio, e até no meu TCC, onde eu já estava perdendo as esperanças, veio e conseguiu me dar a luz que precisava e conseguir dar continuidade, e hoje trabalhamos juntos na mesma empresa. Ao Andrey que por vezes me ajudou e apoiou nos momentos complicados, né gurizinho. Ao Felipe, que nos conhecemos em uma empresa, nos tornamos

bons amigos e criamos até uma sociedade, no qual nos fez crescer muito, tanto profissionalmente quanto pessoalmente, você é um cara sem igual. E todos os demais amigos, mas tem uma pessoa que é muito especial pra mim, o Victor, que é mais que um irmão pra mim, mais que um membro da família, por estar sempre ao meu lado, sempre dando forças e brigando comigo, me forçando a focar no que eu deveria fazer e não deixar que qualquer outra coisa me tirasse do foco. Sempre que precisei tomar um ar, ele estava sempre disposto a fazer qualquer coisa para poder continuar com meus estudos. Graças a ele, assim como meus pais, hoje estou aqui também escrevendo esse texto e está aqui ao meu lado fazendo de tudo pra me apoiar e confortar. Não tenho palavras nem gestos para agradecer por tudo de ótimo que você influenciou em minha vida e em minha jornada. Você é uma das pessoas que se eu puder estará sempre ao meu lado, independentemente da situação.

Agradecer aos professores, que ao longo desses anos um vínculo foi criado e sem eles seria impossível ter adquirido todo o conhecimento que tenho hoje.

Ao meu orientador, Valdir Noll, que mesmo eu não passando-lhe muitas informações de como estava o andamento do projeto, ele acreditou em mim e me ajudou de todas as maneiras possíveis.

Ao IFSC, pela oportunidade de concluir este curso, que é apenas o início.

RESUMO

Por meio do exercício físico aeróbico (EFA) regular, desencadeiam-se várias adaptações orgânicas que beneficiam o organismo. No âmbito do sistema respiratório, especificamente, a prática de exercício físico resulta em redução significativa da sintomatologia e intensificação das capacidade ventilatória, tanto em afecções pulmonares agudas como crônicas. Em âmbito laboratorial, para simular tais situações, o EFA pode ser realizado em esteira de uso humano. Não obstante, a adaptação realizada em cada estudo não é padronizada, e a metodologia utilizada tem apresentado um caráter heterogêneo.

Portanto, o objetivo deste projeto é a realização de uma adaptação de uma esteira (retrofitting) de uso humano para ser uma esteira de uso laboratorial, e permitir realizar testes ergométricos em animais, especialmente em murinos (ratos e camundongos), Para isso utilizou-se um microcontrolador ESP32 associado com um microcontrolador Arduino Nano, deixado exclusivamente para medir a velocidade.

A ESP32 realiza comando e controle em geral da esteira, bem como controla a interface gráfica (IHM) interativa com o usuário. A esteira opera em três modos diferentes: Normal, Teste de Capacidade Física Máxima (TCFM) e Treinamento Físico Aeróbio (TFA). O Arduino Nano está exclusivamente associado ao encoder, para medir a velocidade da esteira. Este encoder está acoplado mecanicamente por meio de uma adaptação realizada no eixo da esteira.

A velocidade da esteira é o resultante da medição do encoder e de um software embarcado, cujos resultados se mostraram satisfatórios. A Interface Humano-Máquina desenvolvida em uma tela gráfica LCD permite ao usuário visualizar e controlar todo o sistema, de acordo com vários modos de funcionamento.

Por fim, o controle da velocidade se mostrou robusto para vários testes, e a medição de velocidade se mostrou virtualmente igual ao valor real, satisfazendo os requisitos de projeto.

Palavras-chave: Controle de velocidade. Retrofitting. Murinos. Esteira.

ABSTRACT

Through regular aerobic exercise (EFA), several organic adaptations are triggered that benefit the body. In the scope of the respiratory system, specifically, the practice of physical exercise results in a significant reduction of symptoms and intensification of ventilatory capacity, both in acute and chronic lung diseases. At the laboratory level, to simulate such situations, the EFA can be performed on a treadmill for human use. However, the adaptation performed in each study is not standardized, and the methodology used has shown a heterogeneous character.

Therefore, the objective of this project is to carry out an adaptation of a treadmill (retrofitting) for human use to be a treadmill for laboratory use, and to allow for performing ergometric tests in animals, especially in mice (rats and mice). if an ESP32 microcontroller associated with an Arduino Nano microcontroller, left exclusively to measure the speed.

ESP32 performs general command and control of the treadmill, as well as controls the interactive graphical user interface (IHM). The treadmill operates in three different modes: Normal, Maximum Physical Capacity Test (TCFM) and Aerobic Physical Training (TFA). The Arduino Nano is exclusively associated with the encoder, to measure the speed of the belt. This encoder is mechanically coupled by means of an adaptation carried out on the conveyor axis.

The conveyor speed is the result of the measurement of the encoder and an embedded software, whose results were satisfactory. The Human-Machine Interface developed on a graphic LCD screen allows the user to visualize and control the entire system, according to various operating modes.

Finally, the speed control proved to be robust for several tests, and the speed measurement proved to be virtually equal to the real value, satisfying the design requirements.

Keywords: Velocity control. Retrofitting. Murine. Mat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esteira para Murinos desenvolvida pelo IFSC e UDESC 18
Figura 2 - Esteira para Seres Humanos 19
Figura 3 - Exemplos de esteira para uso do EFA 21
Figura 4 - Componentes da Esteira 22
Figura 5 - Motor Trifásico de Corrente Alternada 23
Figura 6 - Esquemático inversor de frequência 24
Figura 7 - ESP32 25
Figura 8 - Pinos ESP32 26
Figura 9 - Arduino Nano 26
Figura 10 - Pinos Arduino Nano 27
Figura 11 - Encoder rotativo 28
Figura 12 - Encoder rotativo óptico 28
Figura 13 - Encoder rotativo magnético 29
Figura 14 - Tela TFT 29
Figura 15 - Esquemático das células do TFT 30
Figura 16 - Optoacoplador 31
Figura 17 - Diagrama interno do optoacoplador 31
Figura 18 - Interface Humano-Máquina 33
Figura 19 - Módulo relé para microcontrolador 34
Figura 20 - Blocos de eletrônica e implantação do sistema 37
Figura 21 - Informações do encoder 38
Figura 22 - Diagrama de Saídas 39
Figura 23 - Tensão vinda das entradas do inversor 40
Figura 24 - Adaptação Mecânica para acoplar o encoder 40
Figura 25 - Imagem adquirida pelo osciloscópio com velocidade mínima 41
Figura 26 - Relação entre as polias e o encoder 42
Figura 27 - Marcações na lona da esteira 44
Figura 28 - Imagens com sinais do encoder em várias velocidades 45
Figura 29 - Modo Manual 47
Figura 30 - Modo TCFM 47
Figura 31 - Modo TFA 48
Figura 32 - Fluxograma de funcionamento da Esteira 49

Figura 33 - Esquemático do Projeto 51
Figura 34 - Consumo de corrente máxima do sistema 51
Figura 35 - Placa protótipo finalizada 53
Figura 36 - Tela do Visual Studio Code 53
Figura 37 - Tela do Arduino IDE 54
Figura 38 - Máquina de estados dos modos de operação 54
Figura 39 - Máquinas de estado dos comandos e envio de pulsos 55
Figura 40 - Estrutura Global dos Dados 55
Figura 41 - Fluxograma Geral do *Software* do ESP32 56
Figura 42 - Fluxograma do *Software* do Modo Principal 57
Figura 43 - Fluxograma do *Software* do Modo Manual 58
Figura 44 - Fluxograma do *Software* do Modo TCFM 59
Figura 45 - Fluxograma do *Software* do Modo TFA 60
Figura 46 - Fluxograma do *Software* do Arduino Nano 61
Figura 47 - Gráfico correlacionando as velocidades encontradas e o erro 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre os exercícios físicos aeróbicos e anaeróbicos 20
Tabela 2 – Tabela ISO/IEC 9126 32
Tabela 3 - Comparativo dos encoders óptico e magnético 38
Tabela 4 - Relação de Pinagem entre os Componentes 52
Tabela 5 - Comparação de resultados entre encoder e *software* de vídeo 63

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

IFSC - Instituto Federal de Santa Catarina

TCFM - Teste de Capacidade Física Máxima

TFA - Treinamento Físico Aeróbico

EFA - Exercício Físico Aeróbico

FEM - Força Eletromotriz

GPIO - General Purpose Input/Output

TFT - Thin Film Transistor

LED - Lighting Emissor Diode

HZ - Hertz

GND - Ground (0V)

VCC - Tensão em Corrente Contínua

IHM - Interface Humano Máquina

UART - Receptor/Transmissor Assíncrono Universal

PCI - Placa de Circuito Impresso

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **15**
1.1. Justificativa e Definição do Problema **15**
1.2. Objetivo Geral **16**
1.3. Objetivos Específicos **16**

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **18**
2.1. Exercício Físico Aeróbico (EFA) **19**
2.1.1 Estudos do EFA em esteira 20
2.2. Motores de Corrente Alternada **22**
2.3. Inversor de Frequência **23**
2.3.1. Característica do inversor 23
2.3.2. Funcionamento 24
2.4. Microcontrolador modelo ESP32 **24**
2.4.1. Características do ESP32 25
2.4.2. Pinagem do ESP32 25
2.5. Arduino Nano **26**
2.5.1. Características Técnicas 26
2.5.2. Pinagem Arduino Nano 27
2.6. Encoder **27**
2.6.1. Tipos de encoder e seu funcionamento 28
2.7. Tela TFT **29**
2.7.1. Funcionamento da tela TFT 30
2.8. Optoacoplador **30**
2.8.1. Funcionamento do optoacoplador 31
2.9. Interface Humano-Máquina (IHM) **32**
2.10. Módulo Relé **33**

3. DESENVOLVIMENTO PRÁTICO **36**
3.1. Planejamento **36**
3.2. Visão Geral do Sistema **36**
3.3. Comparativo entre os encoders **38**
3.4. Validação dos componentes originais da esteira **39**
3.5. Desenvolvimento da Interface IHM e seus Modos de Operação **46**
3.5.1. Modo Manual 46
3.5.2. Modo TCFM (Teste de Capacidade Física Máxima) 47
3.5.3. Modo TFA (Treinamento Físico Aeróbico) 48
3.6. Projeto e Desenvolvimento do Circuito Eletrônico de Controle **50**
3.7. Desenvolvimento do Software **53**
3.7.1. Software do ESP32 54

3.7.2. Software do Arduino Nano 61

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 63
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 67
6. REFERÊNCIAS 68

1. INTRODUÇÃO

O esforço físico regular desencadeia várias adaptações que beneficiam o organismo, como regulação da pressão arterial, regularização do sono e aumento da capacidade ventilatória. No âmbito do sistema respiratório a prática de exercícios físicos implica em diversos benefícios como a redução de sinais e sintomas como a dispneia, o cansaço e a insaturação.

Os modelos experimentais na esfera pulmonar que adotam o esforço físico em esteiras têm sido realizados em equipamentos utilizados em seres humanos, não levando em consideração a anatomia e fisiologia dos camundongos e ratos laboratoriais, por exemplo. Dessa forma, um equipamento adaptado para analisar a amplitude do passo, o deslocamento e a velocidade do murino (rato ou camundongo), bem como seus esforços físicos e conforto durante os treinos e teste de ergonomia, do ponto de vista científico e tecnológico, é tão inovador quanto necessário.

Logo, este projeto teve como objetivo adaptar uma esteira (retrofitting) utilizada por seres humanos para murinos, além de testá-la em algumas intensidades do esforço físico em animais de laboratório, utilizando para isso um controlador de velocidade e uma interface humano-máquina (IHM).

1.1. Justificativa e Definição do Problema

A ideia de utilização de animais em pesquisas surgiu, principalmente, por questões éticas relativas a testes e procedimentos invasivos em seres humanos. Mesmo com o progresso de métodos alternativos nos últimos anos (estudos in vitro, culturas de células, etc.), os modelos animais ainda apresentam como principal vantagem o fornecimento de informações sobre o organismo como um todo, fato que não é obtido com outros métodos (Heywood, 1987; Ribeiro et al., 1995; Salén, 1995; Snitkoff, 2004).

Desde 1950 os murinos vêm sendo cobaias em testes farmacêuticos, laboratoriais e científicos por ser um animal de fácil proliferação, pequeno porte, ter o período de gestação curto, de fácil domesticação e manutenção. O primeiro estudo a utilizar esses animais foi no teste dos efeitos terapêuticos da penicilina em infecções bacterianas e desde os primórdios pouco se fez na questão do bem-estar destes animais.

O estudo e desenvolvimento deste projeto visa exatamente trabalhar neste binômio: a realização de testes de forma metodológica, ergométrica e adequada tanto para o animal, quanto para o pesquisador, de modo que os animais possam ter total controle sobre os parâmetros utilizados e os animais possam usufruir de um ambiente preparado para suas características anatômicas e fisiológicas, isentos de possíveis injúrias. Desta maneira, este estudo pode potencializar os resultados experimentais, diminuindo a perda amostral e proporcionando um experimento controlado, reprodutível e ético.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral é realizar adaptações necessárias (*retrofitting)* de uma esteira de uso humano, moldando-a para testes ergométricos em camundongos e ratos de laboratório, considerando sua anatomia, fisiologia e comportamento.

1.3. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste projeto incluem o estudo de adaptação da esteira de uso humano para uso em animais,

Assim, para elaborar o projeto devemos:

a) Desenvolver uma interface humano-máquina, de modo que possa ser controlado a esteira de maneira fácil, sem a necessidade de ser um especialista em tecnologia, além de ser um supervisório para indicação dos métodos de testes que estão sendo utilizados no momento.

b) Controlar a velocidade da esteira, de modo que não ocorra o distúrbio em excesso da velocidade desejada, através de um microcontrolador *ESP 32* e um microcontrolador Arduino Nano.

c) Realizar testes ergométricos nas intensidades baixa, moderada e alta, através de uma tela TFT e botões de comando de fácil utilização.

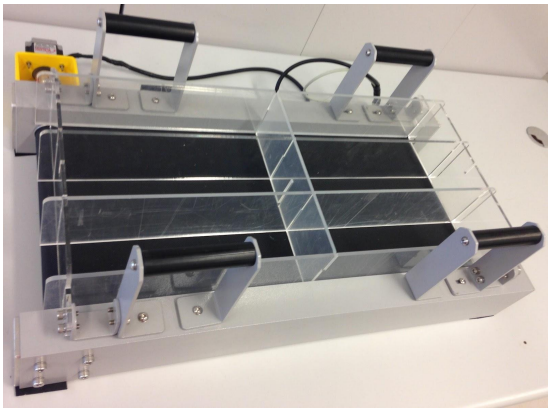
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esteiras especialmente desenvolvidas para uso em laboratório não são comuns no mercado, especialmente na esfera nacional. No caso, é mais complexo encontrar esteiras para uso de murinos (ratos e camundongos), porque são animais pequenos e que exigem um cuidado especial em sua manipulação. Essas esteiras tem como objetivo fazer testes de esforços físicos em animais, para análise de resultado de um determinado produto ou condição de saúde destes animais, servindo de pesquisa para gerar futuros remédios para uso em humanos.

Os exercícios realizados em laboratórios mimetizam o treino físico realizado em seres humanos. Entretanto, as variáveis de velocidade - incrementais ou não- distância e intensidade podem apresentar dificuldades na reprodutibilidade experimental devido à diversidade de equipamentos não específicos para a utilização em murinos. Devido a este fato, foi proposta a recriação de uma esteira, usando como base uma esteira para seres humanos, adaptando-a e automatizando-a para obter menor velocidade de uso e um controle mais eficaz.

Nesta seara, várias características distintas são notórias quando comparadas a um equipamento de menor dimensão, como por exemplo a esteira para murinos projetada pelo IFSC/Florianópolis e UDESC, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Esteira para Murinos desenvolvida pelo IFSC e UDESC



Fonte: IFSC

Por sua vez, ao utilizar uma esteira de maior dimensão para seres humanos, como pode ser visto na Figura 2, componentes diferenciados são necessários para o seu

funcionamento, como motor de corrente alternada, inversor para realizar a movimentação do motor, polias e correias, tendo em mente que esta esteira não possui controle automático de variação de velocidade, não exibindo a velocidade atual.

Figura 2 - Esteira para Seres Humanos

Fonte: Do Autor (2022).

2.1. Exercício Físico Aeróbico (EFA)

O EFA é aquele exercício no qual há movimentação de grandes grupos musculares por um período de tempo, levando ao aumento da respiração e da frequência cardíaca. Diferentemente do exercício anaeróbico, que não depende do oxigênio para gerar energia para os músculos, esse exercício utiliza o oxigênio para gerar energia. A tabela 1 mostra o comparativo entre os tipos de exercícios.

Em modelos experimentais, já foi demonstrado que o condicionamento físico aeróbico pode resultar na atenuação de doenças pulmonares crônicas, bem como diminuição dos efeitos deletérios vindo de exposições agudas à alérgenos, bactérias e tóxicos irritantes (VIEIRA, et al., 2007; VIEIRA, et al., 2012; TOLEDO, et al., 2012, ÁVILA et al., 2015).

Tabela 1 - Comparação entre os exercícios físicos aeróbicos e anaeróbicos

	Exercício Físico Aeróbico	**Exercício Físico Anaeróbico**
Definição	Precisa de oxigênio para produzir energia	Utiliza glicose para produzir energia
Exemplo	Correr, Caminhar	Musculação, HITT

Fonte: Do Autor (2022).

2.1.1 Estudos do EFA em esteira

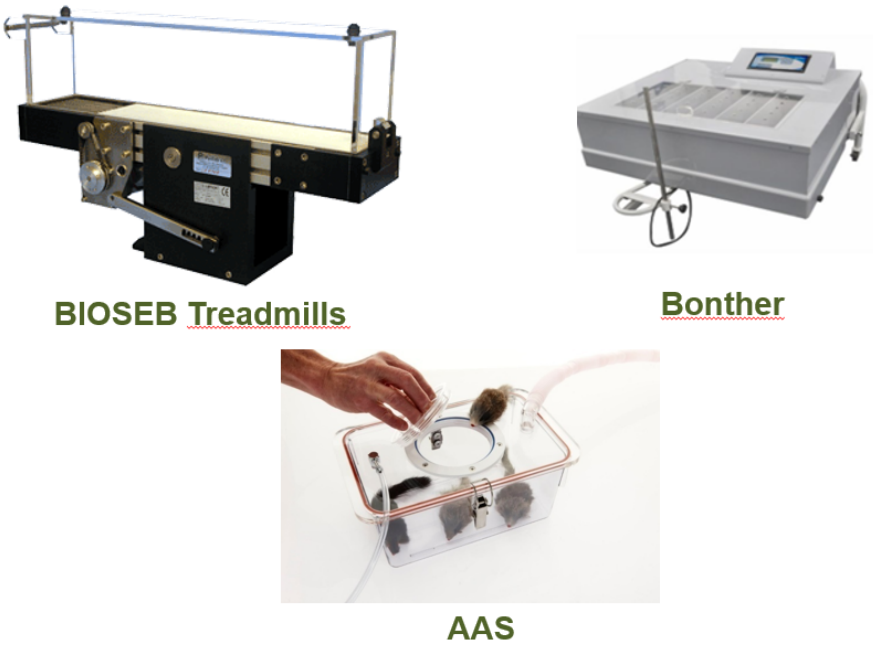
A maioria das esteiras e modelos experimentais, após estudo, mostra que não se utiliza de equipamento adaptado para os animais de experimentação, e sim, de esteiras convencionais, empregadas em academias ou para uso doméstico. A partir do princípio de suas características universais, estes equipamentos não são adequados para murinos, que possuem certas singularidades, como a distância do passo em intensidades diferentes de EFA, o tamanho da cauda, que pode ficar presa entre as raias de acrílico resultado em lesões, tamanho e exposição da genitália (dos machos), podendo ocasionar injúrias devido ao atrito e, ainda, lesão nas patas, que podem ser seriamente contundidas, independente dos cuidados dos pesquisadores.

Estes inconvenientes durante os protocolos de EFA, além de machucar os animais, podem desencadear estresse e processos de inflamação periférica, que interferem na avaliação correta do protocolo aplicado devido à liberação de mediadores bioquímicos. Além disso, fatores como a diminuição de ocorrências de lesões nos animais, incremento de seu bem-estar e diminuição do número de animais utilizados (uma vez que os murinos lesionados são excluídos dos estudos, e repostos por outros), fazem parte das diretrizes e métricas internacionais do guia denominado ARRIVE (Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments), bem como da abordagem internacionalmente conhecida como NC3Rs (National Center of Replacement, Reduction and Refinement of Animals in Research).

Através de estudos de mercado, nota-se diferenças entre as esteiras que são comercializadas e o equipamento em foco. As maiores diferenças estão nos quesitos do tamanho, modo de atuação e potência.

Na Figura 3 mostra-se a imagem de 3 esteiras para esse fim, das empresas Bioset Treadmills, Bonther e AAS.

Figura 3 - Exemplos de esteira para uso do EFA



Fonte: BIOSEB, Bonther e AAS (2022).

Através da figura 4, é possível visualizar alguns dos componentes que fazem parte da esteira, os quais serão utilizados para o projeto do retrofitting, dentre eles a lona onde será realizado o treinamento, o motor e o inversor para realizar o movimento, o painel para visualização dos dados, as polias e correias para transmissão do movimento.

Figura 4 - Componentes da Esteira

Fonte: Do Autor (2022).

2.2. Motores de Corrente Alternada

Os motores de corrente alternada (AC), que também são conhecidos como motor assíncrono trifásico ou motor de indução são os motores mais utilizados, devido a uma série de vantagens, como o baixo custo em manutenção, fabricação e simplicidade em relação aos motores de corrente contínua, e devido a distribuição de energia elétrica nas instalações serem feitas em corrente alternada.

Motores trifásicos são encontrados facilmente dentro das indústrias, como por exemplo dentro do torno, fresa, esteiras e diversas outras máquinas, mas fora das indústrias podemos encontrar um motor trifásico em um elevador ou na bomba de uma piscina por exemplo. A figura 5 mostra um exemplo desse motor.

Figura 5 - Motor Trifásico de Corrente Alternada

Fonte: Weg (2022).

2.3. Inversor de Frequência

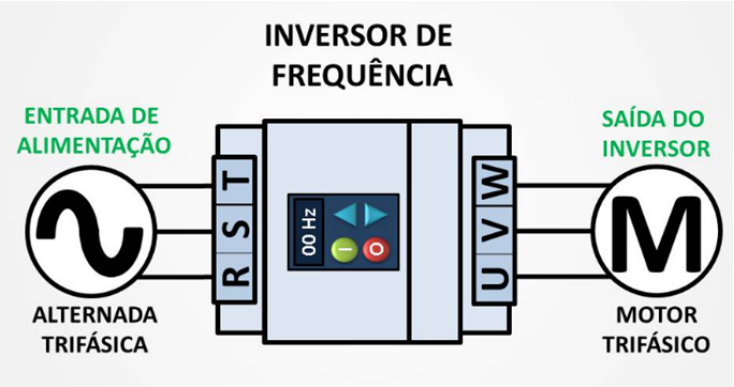
O inversor de frequência é um aparelho eletrônico capaz de controlar a velocidade de um motor elétrico trifásico. Esse tipo de controlador aciona um motor elétrico e possibilita a variação da frequência e da tensão fornecida ao motor, sendo capaz de alterar sua potência e velocidade.

2.3.1. Característica do inversor

A função do inversor é variar a frequência da rede que alimenta o motor, no qual a de entrada da rede normalmente é 60Hz, ele consegue realizar essa mudança na faixa de 0,5 a 400 Hz.

Além de controlar a frequência, ele também é capaz de manter o torque constante, visando não comprometer na rotação do motor ao ser colocado carga sobre ele, sem esse controle o motor gira em velocidade máxima e para. A figura 6 exibe a ligação elétrica do inversor de frequência de modo geral.

Figura 6 – Esquemático inversor de frequência



Fonte: Maike Tech (2020).

2.3.2. Funcionamento

O inversor de frequência transforma corrente elétrica alternada fixa (corrente e tensão) em corrente elétrica CA variável controlando a potência consumida pela carga através da variação da frequência entregue pela rede (MATTEDE, 2021. Online). Durante o processo, o sinal de corrente alternada torna-se pulsado e com largura modulada, permitindo o ajuste da frequência e tensão, permitindo o controle do motor.

O inversor possui alguns componentes interno:

- **Retificador:** nesse módulo os diodos retificam a tensão de entrada da rede e fornece uma saída com ondulação que será corrigida pelo filtro.
- **Filtro:** barramento de corrente contínua que suaviza a ondulação.
- **Capacitor:** componentes do filtro, corrigindo as ondulações de tensão e os indutores corrigindo a corrente.
- **Inversor:** semicondutores que operam chaveando, entre aberto ou fechado, obedecendo a lógica estabelecida.

2.4. Microcontrolador modelo ESP32

O ESP 32 é um CI que tem grande importância no desenvolvimento de circuitos eletrônicos devido seu baixo custo, baixo consumo energético e seu processamento de informações elevado. Ele possui várias portas de entradas e saídas, além de conseguir realizar

transferência de dados através da comunicação *Bluetooth* e *Wi-Fi*. A série ESP 32 emprega um microprocessador com duas variações *dual-core* e *single-core* e inclui antena integrada.

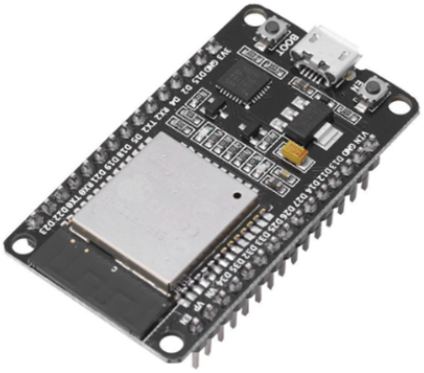
2.4.1. Características do ESP32

Algumas das principais características (CURVELLO, 2015):

- 2 Processadores Xtensa de 240 MHz;
- Barramento I2C, I2S, UART, CAN e SPI;
- 512kB de RAM

A figura 7 mostra uma imagem da ESP32.

Figura 7 – ESP32



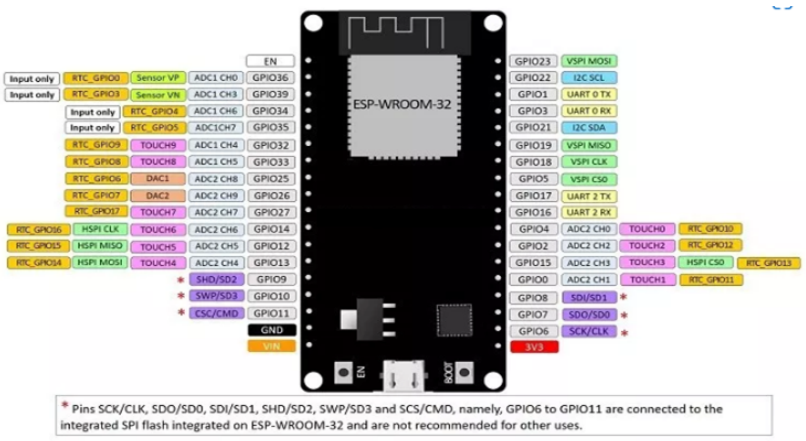
Fonte: Do Autor (2022).

2.4.2. Pinagem do ESP32

O ESP32 possui 34 GPIOs, portas programáveis de entrada e saída de dados.

A maioria dos GPIOs digitais pode ser configurada como pull-up ou pull-down interno, ou configurada para alta impedância. A figura 8 mostra as portas de entradas e saídas.

Figura 8 – Pinos ESP32

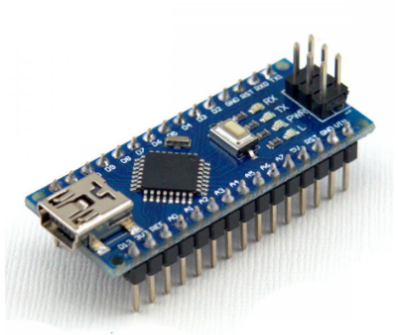


Fonte: Website ESP 32 (2022).

2.5. Arduino Nano

Arduino Nano é uma placa microcontroladora que utiliza o microcontrolador ATMega328P,de forma compacta e completa. Esse microcontrolador, como mostrado na figura 9, é uma versão reduzida do Arduino UNO, minimizando o consumo energético.

Figura 9- Arduino Nano



Fonte: Arduino.cc (2022).

2.5.1. Características Técnicas

As características técnicas são (Hw Libre Isaac, 2021):

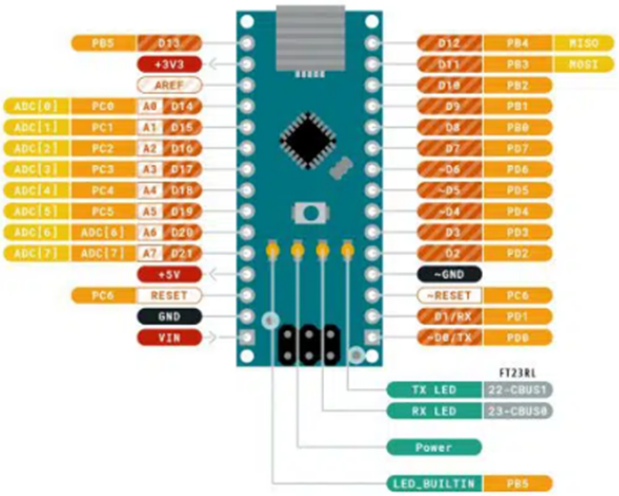
- É uma placa microcontrolada pequena, flexível e fácil de usar;
- Memória Flash 16 KB ou 32KB (depende da versão);
- Memória Bootloader 2 KB;

- Possui 14 pinos digitais, 8 pinos analógicos;

2.5.2. Pinagem Arduino Nano

O Arduino Nano não possui tantos pinos de I/Os quanto outros, mas tem uma quantidade considerável para a maioria dos projetos. Na figura 10 é possível verificar a pinagem e a disposição dos pinos.

Figura 10 – Pinos Arduino Nano



Fonte: Website Arduino (2022)

2.6. Encoder

O encoder rotativo é um dispositivo eletromecânico que gera pulsos elétricos a partir do movimento rotacional, usado para determinar a posição angular do seu eixo.

Um encoder pode ser conectado a um controle digital por CNC, PLC lógico programável, ou outro sistema de controle a ser utilizado. Esses transdutores são geralmente divididos em incrementais ou absolutos (PRODIHL, 2021). Na figura 11 pode ser visto um modelo de encoder rotativo.

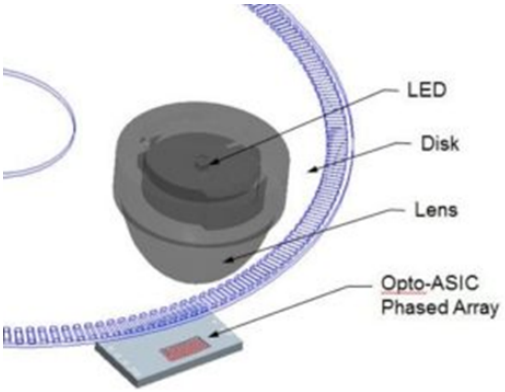
Figura 11 – Encoder rotativo

Fonte: M1 Automação (2022).

2.6.1. Tipos de encoder e seu funcionamento

O sistema de leitura é referenciado de acordo com o disco indexador radial interno, que consiste em janelas alternadas de transmissão de luz e sombra. O sistema é todo iluminado verticalmente por uma luz infravermelha, de forma que a imagem é projetada na superfície do receptor, conhecido como encoder rotativo óptico. A função do receptor é detectar a mudança de luz causada pela rotação do disco e convertê-la de acordo com a mudança elétrica, respectivamente. A figura 12 exibe as partes internas de um encoder rotativo.

Figura 12 – Encoder rotativo óptico



Fonte: DynaPar (2022).

O encoder rotativo magnético usa o mesmo princípio do óptico, mas utiliza de campos magnéticos ao invés da luz. Um encoder magnético tem como um de seus componentes uma roda magnetizada que gira sobre uma placa de sensores magneto-resistentes. Assim, quando o

disco girar sobre o receptor, o sensor detecta o padrão através do campo magnético gerado. A resposta magnética é alimentada através de um circuito com condicionamento de sinal para alcançar o resultado. Na figura 13 abaixo, é possível verificar o modo de construção de um encoder rotativo magnético.

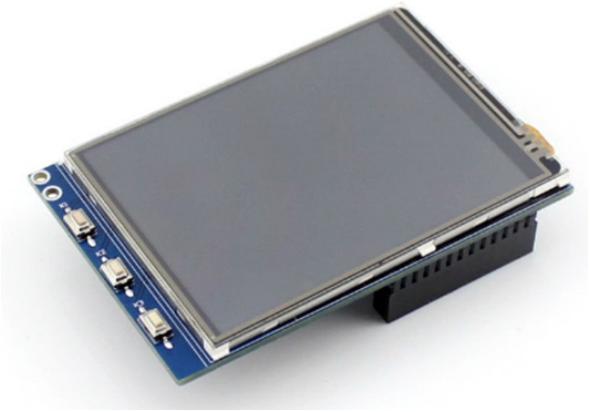
Figura 13 – Encoder rotativo magnético

Fonte: Pepperl Fuchs (2022).

2.7. Tela TFT

TFT é a sigla de "Thin Film Transistor" ou Transistor de Película Fina, ao traduzir para o português. Popularmente conhecida como um tipo de tela de LCD no qual é possível controlar cada pixel individualmente, determinando brilho, nitidez, cor e contraste. A tecnologia da tela TFT se concede através de uma camada semicondutora bem fina capaz de controlar os pixels, podendo cada um dos pixels produzir mais de 16 milhões de cores, através dos transistores que compõem essa tecnologia. Um exemplo de tela FTF na figura 14 abaixo.

Figura 14 – Tela TFT



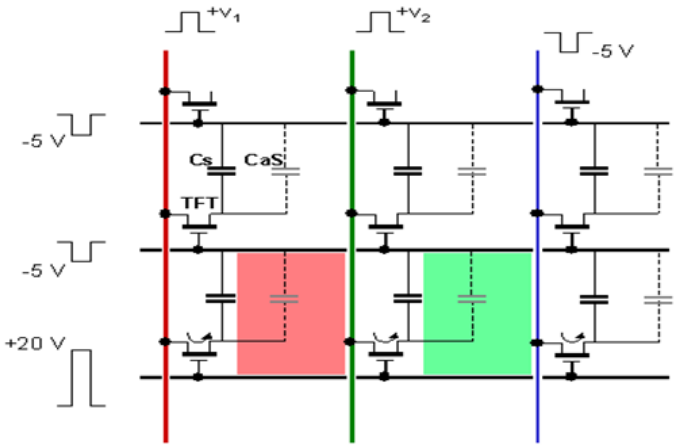
Fonte: Robotics (2022).

2.7.1. Funcionamento da tela TFT

Por ser um tipo de LCD, os cristais líquidos ficam na tela e suportam os pixels formados pelo padrão RGB, vermelho, verde e azul. Para estes cristais formarem a cor desejada, eles recebem uma determinada corrente elétrica que por sua vez são controladas pelos transistores.

Cada pixel tem seu próprio transistor resultando na qualidade de imagem ao serem controladores independentemente. A figura 15, exibe o esquema eletrônico de cada pixel da tela TFT.

Figura 15 – Esquemático das células do TFT



Fonte: Wikimedia (2022).

2.8. Optoacoplador

É um dispositivo que permite transferir sinais entre circuitos elétricos mantendo um isolamento entre as secções, ou seja, não existe o fluxo de corrente entre as secções que o constituem. Os optoacopladores são utilizados para proteger os circuitos de controle, onde normalmente trabalham com baixa voltagem e corrente, de circuitos que envolvem maiores tensões, motores ou outros dispositivos com maior potência. A figura 16 é um exemplo de optoacoplador convencional.

Normalmente são compostos por um led emissor de luz e um fototransistor. Além deste modelo, existe outro tipo que ao invés do foto-transmissor convencional, utiliza-se de

um foto-transistor darlington, circuitos com lógica digital, foto-triac, ou até mesmo a detecção de fase em corrente alternada.

Figura 16 – Optoacoplador

Fonte: Mundo Eletrônica (2022).

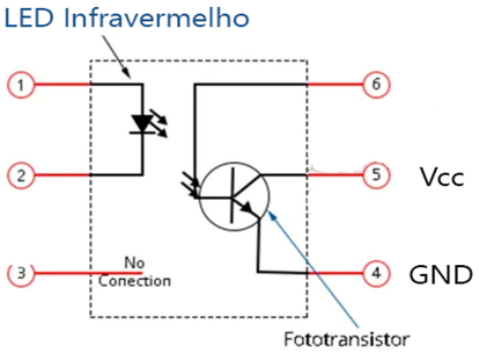
2.8.1. Funcionamento do optoacoplador

O optoacoplador funciona como mudança de nível lógico entre dois circuitos. Ele tem a capacidade de bloquear a transferência de ruído através dos circuitos integrados.

Internamente ele contém um LED infravermelho que é acoplado a um dispositivo fotodetector de silício, que é geralmente um fototransistor ou um fotodiodo, no qual são incorporados em um corpo à prova de luz.

Quando os terminais conectados com o LED infravermelho são fornecidos com uma tensão apropriada, ele emite internamente uma radiação com comprimento de onda entre 900 e 940 nanômetros. A figura 12 exibe o diagrama interno do optoacoplador.

Figura 17 – Diagrama interno do optoacoplador



Fonte: Adaptado de Ingeniería Mecafenix (2022).

Esse sinal ao ser detectado pelo fotodetector, instantaneamente cria uma continuidade através de seus terminais coletor e emissor, realizando o chaveamento sempre que o acoplamento for realizado.

2.9. Interface Humano-Máquina (IHM)

A necessidade da construção de uma interface interativa e de fácil acesso ao usuário é fundamental em um sistema. É o meio de comunicação entre o computador e o homem, no qual ações são realizadas com o mesmo objetivo em comum.

A interface faz parte do sistema computacional e determina como as pessoas operam e controlam o sistema. Quando uma interface é bem projetada, ela é compreensível, agradável e controlável. Os usuários se sentem satisfeitos e seguros ao realizar suas ações. A importância da interface se torna evidente, pois todos somos usuários e alguns aspectos reforçam esta importância, tais como: i) disseminação do uso de sistemas e equipamentos como celulares; ii) aumento da complexidade dos sistemas; iii) preocupação com a qualidade do software de acordo com a característica da usabilidade (conforme as definições da Norma ISO/IEC 9126-1). A tabela 2 mostra a norma em relação aos seus aspectos.

Tabela 2 – Tabela ISO/IEC 9126

ISO/IEC 9126	Funcionalidade	Adequação	
		Acurácia	Segurança
		Interoperabilidade	Conformidade
	Confiabilidade	Maturidade	Recuperabilidade
		Tolerância a Falhas	Conformidade
	Usabilidade	Inteligibilidade	
		Apreensibilidade	Atratividade
		Operabilidade	Conformidade
	Portabilidade	Adaptabilidade	
		Facilidade de Instalação	Substituição
		Coexistência	Conformidade
	Manutenibilidade	Analisabilidade	
		Modificabilidade	Testabilidade
		Estabilidade	Conformidade
	Eficiência	Consumo de Recursos	Conformidade
		Consumo de Tempo	

Fonte: Adaptado de Anna Izabel J. Tostes (2015)

A interface IHM é composta por um visor LCD e por um botão de comando tipo "encoder rotativo com enter" e por todas as funções presentes (telas), que permitem ao usuário selecionar o modo e configurar esses modos de funcionamento.. A interface possui um design simples para facilitar a comunicação, usando alarmes, animação, e assim por diante. A figura 18 exibe um exemplo de interface homem-máquina desenvolvido para este projeto.

Figura 18 – Interface Homem-Máquina

Fonte: Do Autor (2022).

2.10. Módulo Relé

O relé é uma chave eletromecânica, cuja a movimentação física ocorre quando a corrente elétrica percorre as espirais da bobina do relé, criando um campo magnético sendo capaz de atrair um contato que é responsável pela mudança do estado do contato.

O módulo relé é um componente utilizado para acionar cargas através de um microcontrolador. Comumente funciona como uma chave que trabalha em três posições: normalmente aberto, sendo acionado quando a bobina é magnetizada; normalmente fechado, logo está sempre com o contato transferindo corrente; e o comum, entrada no qual terá continuidade em relação ao estado do relé.

Do lado da entrada do microcontrolador, existem outros três contatos, sendo dois de alimentação 5V, positivo e negativo, e a entrada de sinal, no qual receberá diretamente do microcontrolador para acionar o chaveamento. Como pode ser visto na figura 14.

Figura 19 – Módulo relé para microcontrolador

Fonte: Inter-Chip (2020).

3. DESENVOLVIMENTO PRÁTICO

Com o levantamento das informações da fundamentação teórica, possibilitou-se o desenvolvimento prático do projeto, e assim validar os estudos discutidos durante o desenvolvimento do protótipo.

3.1. Planejamento

Para o desenvolvimento do projeto, foi realizado um comparativo entre os tipos de encoders, ótico e magnético, verificando suas diferenças e quais seus prós e contras correlacionando ambos. Por meio disto, faz-se a escolha do encoder que terá a melhor aplicação ao sistema.

Após a primeira etapa, verificou-se que seria necessário a validação dos componentes originais da esteira e se a velocidade alcançada estaria dentro dos requisitos do projeto, no qual teria como velocidade inicial 0.5 km/h e final próximo a 5.0 km/h. Com base nesses valores foi realizado um estudo de validação do sistema através de *softwares* e os requisitos do sistema foram alcançados com a relação original das polias entre o motor e a lona da esteira.

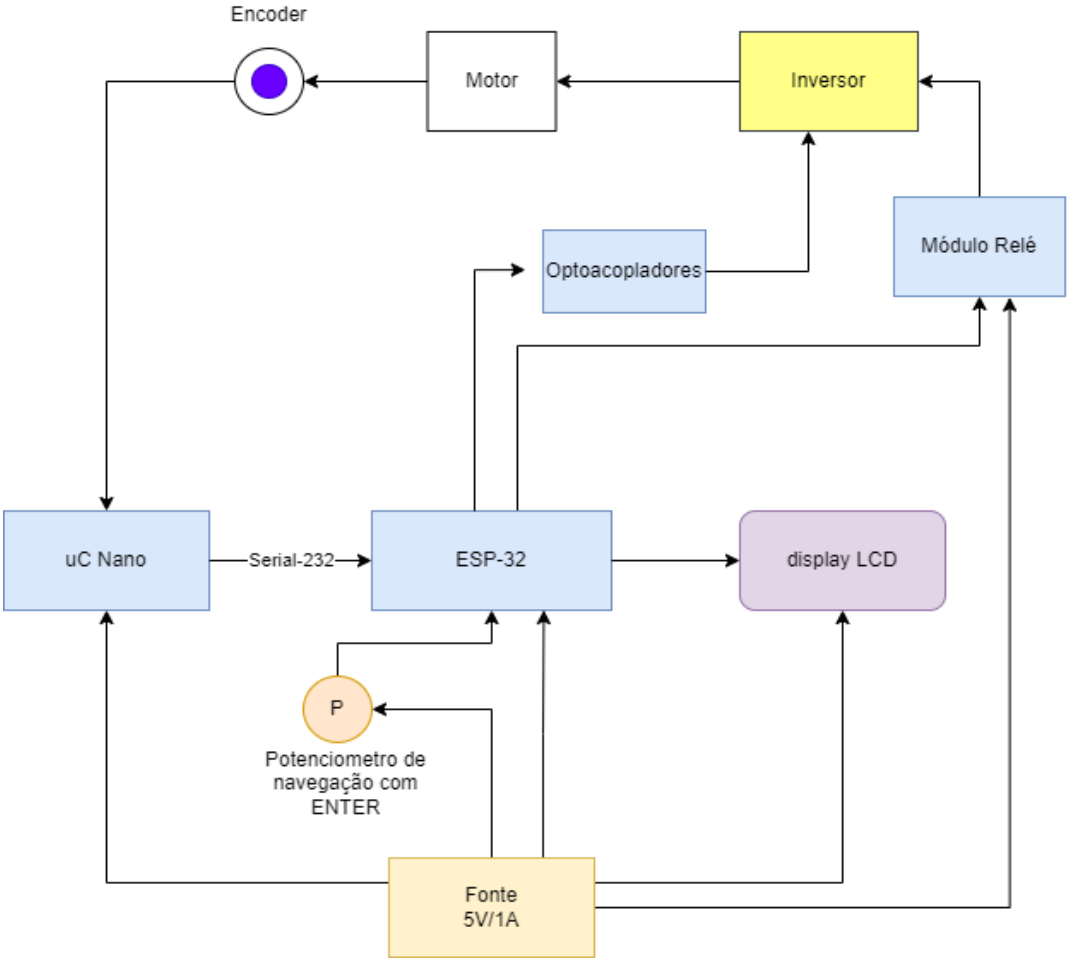
Validada a velocidade do sistema, a próxima etapa do planejamento foi o desenvolvimento da interface IHM, que foi desenvolvida da maneira mais prática possível, utilizando um display TFT e um botão giratório para a escolha e seleção dos menus.

Finalizado a interface IHM, foi realizado o desenvolvimento do controle por histerese, para permitir o controle da velocidade conforme a necessidade. Por fim foi realizado um circuito eletrônico experimental, que, posteriormente, foi montado numa Placa de Circuito Impresso (PCI).

3.2. Visão Geral do Sistema

Na figura 20 é possível verificar os blocos eletrônicos e seu fluxograma, partindo do ESP32 como bloco central.

Figura 20 - Blocos de eletrônica e implantação do sistema



Fonte: Do Autor (2022).

Após a energização do sistema pela Fonte 5V, o sistema é inicializado. O potenciômetro de navegação permite navegar entre os menus através do display LCD, e, após a seleção, o módulo ESP32 envia os sinais através de suas portas para o módulo relé e para os optoacopladores que enviam os sinais ao inversor da esteira.

Ao iniciar o movimento do rolete da esteira, o encoder acoplado ao eixo do motor envia os sinais para o Arduino Nano que converte o número de pulsos por volta em velocidade (km/h), e envia essa informação serialmente para o ESP32. Por ser um controle por histerese, ao chegar na velocidade desejada os pulsos são cessados e a velocidade se estabiliza. A cada 1 segundo nova velocidade é calculada e transmitida ao módulo ESP32 para que este mantenha a velocidade no valor desejado.

3.3. Comparativo entre os encoders

Na tabela 3 há um comparativo entre os dois tipos de encoders, o que auxilia na escolha do que é mais adequado ao projeto.

Tabela 3 - Comparativo dos encoders óptico e magnético

Quesitos de avaliação	Encoder Rotativo Óptico	Encoder Rotativo Magnético
Requisitos do Projeto	Atende	Atende
Resistência à Vibração	Atende	Atende
Durabilidade	Menor	Maior
Preço	Menor	Maior
Modo de Operação	Fácil	Complexo
Precisão	Maior	Menor

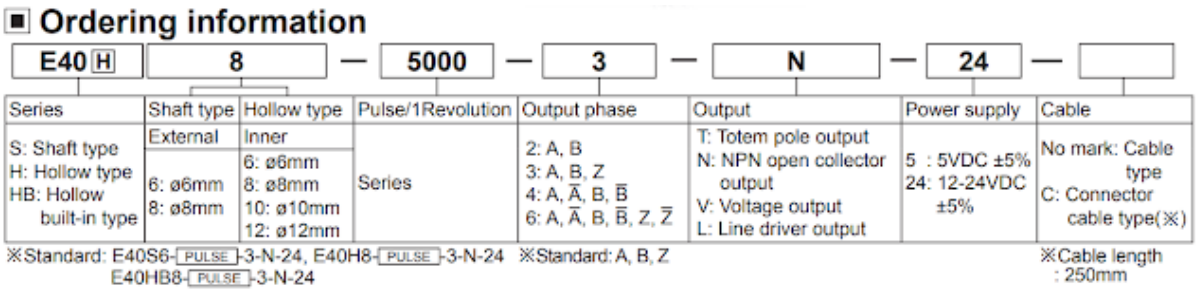
Fonte: Do Autor (2022).

Ao comparar os dois modelos de encoder, apesar de ambos atenderem o projeto e o encoder magnético ter uma maior robustez em relação ao óptico, o magnético é mais complexo de utilizar pois não é incremental, ou seja, não trabalha contando pulsos como o óptico. Ao analisar o requisito principal no projeto, o encoder óptico se sobressai, visto que o requisito principal é a precisão na velocidade escolhida durante o processo do EFA.

Após a escolha do tipo de encoder a ser utilizado, realizou-se uma pesquisa de mercado para ver a marca e modelo de encoder que atenderia o projeto. O modelo escolhido foi o E40-H8-1000-6-L-5 da marca Autonics, permitindo uma excelente precisão com 1000 linhas por revolução, ou seja, dentro de uma volta completa, 360°, existem 1000 pulsos para indicar a velocidade correta.

Na figura 21 é possível verificar as informações do encoder escolhido para o projeto e como utilizá-lo da maneira correta.

Figura 21 - Informações do encoder

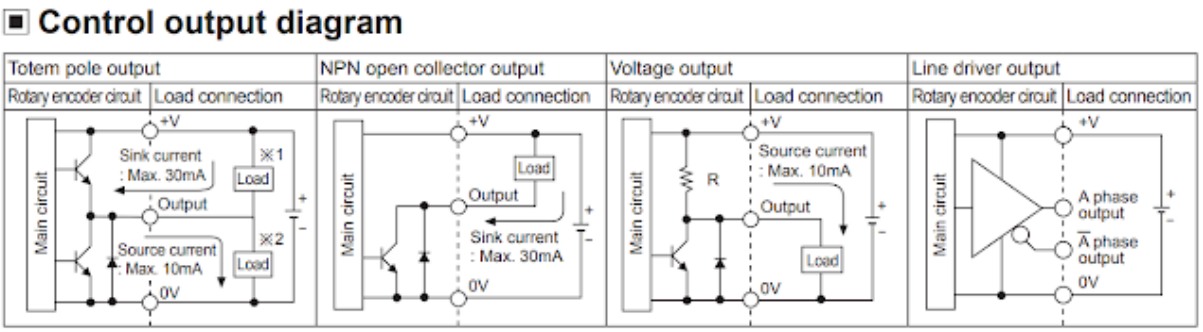


Fonte: Autonics (2022).

Seu modelo descreve as informações do encoder, onde o H indica *Hollow Type*, ou seja passante, o eixo a ser acoplado pode passar o comprimento do encoder, sendo mais fácil para adaptar em qualquer tipo de eixo de 8mm como especificado na descrição.

Os encoder rotativos possuem 4 tipos de saídas, para escolher qual melhor modelo, foi analisado o diagrama e seu modo de funcionamento, logo a saída Line driver foi a escolhida, visto que atenderia ao projeto da melhor maneira possível como observado na figura 22.

Figura 22 - Diagrama de Saídas



Fonte: Autonics (2022)

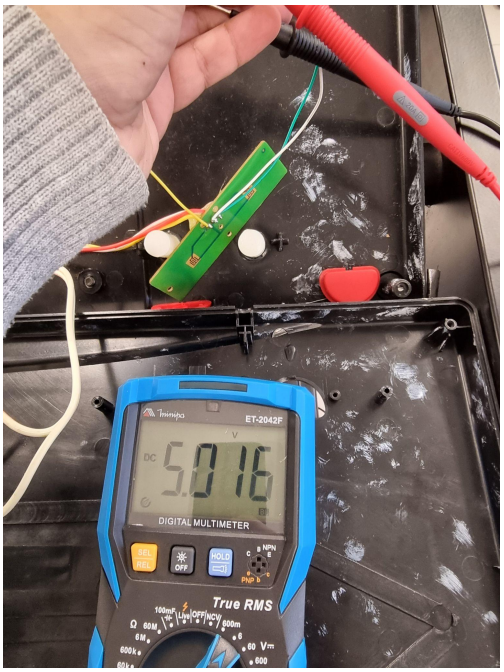
A saída de encoder Line Driver (driver de linha) tornou-se a mais utilizada para uma variedade de aplicações industriais, particularmente em ambientes de alto ruído. Um driver de linha é capaz de forçar ativamente a saída alta e baixa. Como resultado, ele pode gerar maior corrente, suportando longas distâncias de transmissão. Devido a essas características esse foi o modelo utilizado, já que o motor trifásico gera muito ruído.

3.4. Validação dos componentes originais da esteira

Um dos principais desafios foi a validação dos componentes da esteira, visto que não foi encontrado nenhum documento técnico sobre os mesmos. O motor é específico para a esteira e seu inversor, já vindos de fábrica.

Para entender o funcionamento do inversor, foram realizadas medições para descobrir como ele controla a subida e descida de velocidade, e descoberto que ao receber um sinal de GND comum em entradas específicas, visto que as entradas são sempre em 5V, o inversor realizava o aumento ou a diminuição da velocidade. Pela figura 23, pode ser vista a tensão de controle na entrada do inversor.

Figura 23 - Tensão vinda das entradas do inversor



Fonte: Do Autor (2022).

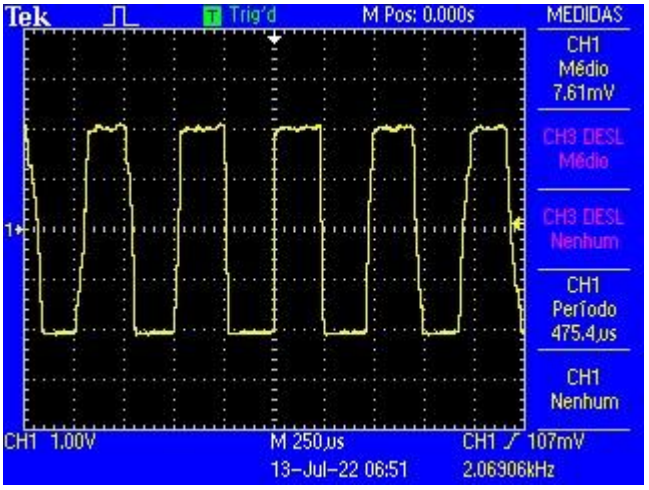
Com o intuito de realizar a validação da relação das polias originais da esteira, foi feito uma adaptação mecânica ao eixo motor da esteira e feito o acoplamento do encoder ao mesmo, como pode ser visto na figura 24, para poder iniciar o procedimento de aquisição de dados. Um eixo adicional de poliuretano usinado foi acoplado ao original da polia, transferindo assim o movimento rotacional ao encoder.

Figura 24 - Adaptação Mecânica para acoplar o encoder

Fonte: Do Autor (2022).

Após o acoplamento, o encoder foi energizado e sua saída digital foi conectada a uma das entradas do osciloscópio Tektronix®. Para realizar o primeiro teste de velocidade foi enviado um pulso no inversor original da esteira, deixando-a em velocidade mínima e verificou-se os sinais recebidos pelo osciloscópio, como pode ser visto na figura 25, anotando os valores de frequência, período e analisando como o sinal se comportava durante os testes.

Figura 25 - Imagem adquirida pelo osciloscópio com velocidade mínima



Fonte: Do Autor (2022).

Para realizar o cálculo de rotação por minuto (RPM), multiplica-se por 60 (segundos) o resultado da divisão da frequência de amostragem (f) pelos pulsos por revolução (PPR) vindos do encoder, como visto na equação 1:

$$RPM = \frac{f}{PPR} \times 60(s) \qquad (1)$$

Como a frequência medida nesse caso é de 2.069,06 Hz, e o encoder que estamos usando tem o valor de 1000 PPR:

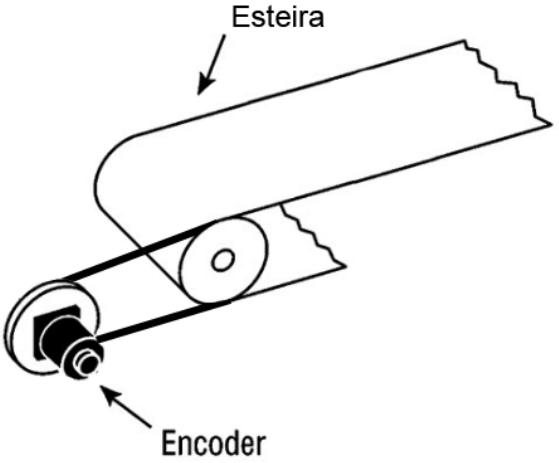
$$RPM = \frac{2.069{,}06\ Hz}{1000} \times 60(s)$$

$$RPM = 124,14 \text{ rpm}$$

Como a rotação por minuto descoberta é no eixo do motor e a lona da esteira tangencia outro eixo, chamado de eixo movido, precisa-se efetuar mais um cálculo para encontrar a rotação no eixo desejado, já que a transferência de movimento é realizado através

de uma correia, pois os diâmetros das polias são diferentes. Ao observar a figura 26, pode-se verificar a necessidade do cálculo de relação de polias.

Figura 26 - Relação entre as polias e o encoder



Fonte: Adaptado de Mokka Sensors (2022)

Para realizar a primeira etapa do cálculo de transferência de rotação, é necessário o diâmetro da polia motora (D1), sua rotação (n1) e o diâmetro da polia movida (D2), seguindo a equação abaixo.

$$\frac{n1}{n2} = \frac{D2}{D1}$$

$$n2 = \frac{n1 \times D1}{D2}$$

A polia motora têm o diâmetro (D1) de 51 mm e a movida (D2) têm 160 mm, a rotação na polia motora (n1) é de 124,14 rpm. Então para a segunda etapa do cálculo, utilizamos da equação acima.

$$n2 = \frac{124{,}14 \times 52}{160} = 40{,}34\ RPM$$

Uma vez descoberta quantas rotações por minuto a polia movida gira em torno de seu eixo, é possível encontrar o valor do percurso que a esteira realiza a cada rotação através da equação do perímetro da circunferência. Essa equação é composta por pi($\boldsymbol{\pi}$) e o raio do eixo onde a lona está tangenciando, já que a polia movida está acoplada no mesmo eixo, logo a rotação é a mesma, dada pela equação 2.

$$C = 2 \times \pi \times r \qquad (2)$$

O raio é a metade do diâmetro de uma circunferência.

$$r = \frac{D}{2}$$

Logo ao realizar os cálculos:

$$C = 2 \times \pi \times \frac{51}{2} = 160,22\ mm$$

Como sabe-se a distância percorrida por volta e quantas revoluções o eixo realiza por minuto, conseguimos descobrir a velocidade instantânea. Por ser um dos requisitos do projeto, a velocidade final sempre será convertida para km/h.

A equação de velocidade dá se por:

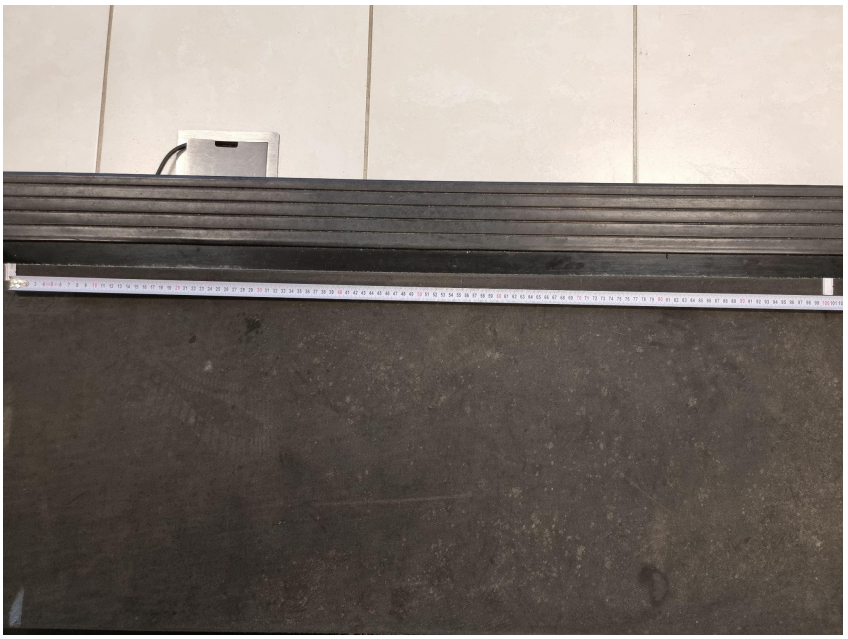
$$V(km/h) = \frac{C(mm) \times RPM\ x\ 60(min)}{1000}$$

$$V(km/h) = \frac{160,22 \times 40,34 \times 60}{1000000} = 0,39\ km/h$$

Como um dos requisitos do projeto é a velocidade inicial de 0,50 km/h, a velocidade inicial encontrada consegue validar esse requisito, no entanto seria necessário entender o funcionamento do inversor e verificar se ele poderia aumentar ou reduzir a velocidade desejada em uma variação de apenas 0,1 km/h. Após a verificação das demais velocidades, como mais um meio de validação, foi executado o método de verificação visual, ou seja, duas marcações na esteira foram feitas com uma distância entre elas de 1m e a gravação de um vídeo foi realizada.

Um dispositivo gravador de vídeo, com uma gravação de 60 frames por segundo foi adaptado em cima da esteira, mantendo um paralelismo para obter outra validação desse dado encontrado, através das informações recebidas pelo osciloscópio. Como observa-se na figura 27.

Figura 27 - Marcações na lona da esteira



Fonte: Do Autor (2022).

Como a velocidade de um determinado ponto é a razão entre a distância percorrida e o tempo que esse evento durou. Através de um *software* de edição de vídeo realizou-se a análise do tempo inicial e final utilizando uma escala de centésimos de segundo.

Para essa velocidade inicial, como foi demarcado um espaço de 1 metro, obteve-se o seguinte resultado através das equações.

$$\Delta T \;=\; Tempo\ Final \;-\; Tempo\ Inicial$$

$$\Delta T \;=\; 8,42 \;-\; 0.000 \;=\; 8,42s$$

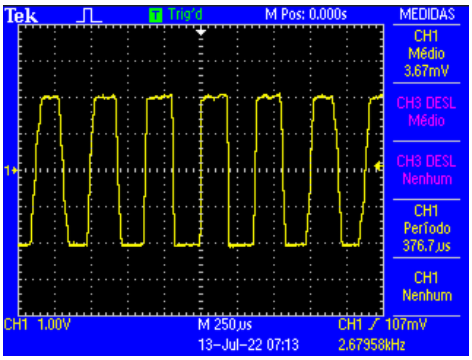
$$V(km/h) \;=\; \frac{Distância}{\Delta T}$$

$$V(km/h) \;=\; \frac{1}{8.42} \times\; 3,6 \;=\; 0,42km/h$$

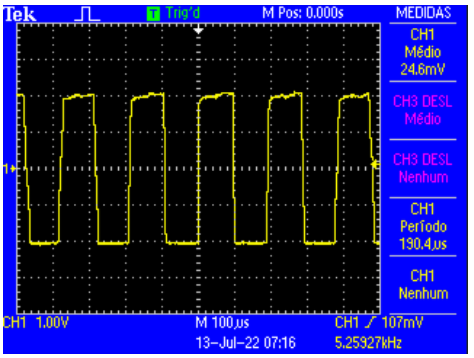
Ao analisar ambos os resultados, observa-se que há uma pequena diferença entre eles. Atribui-se essa diferença como sendo inerente aos métodos utilizados, e não representam necessariamente um erro,e sim, que os resultados estão próximos.

Esses dois métodos de validação, tanto pelo osciloscópio quanto pelo *software* de edição de vídeo foram realizados para várias velocidades diferentes. A figura 28 mostra as imagens capturadas através do osciloscópio em velocidades diferentes, e mostram a frequência e o período das ondas observadas do encoder.

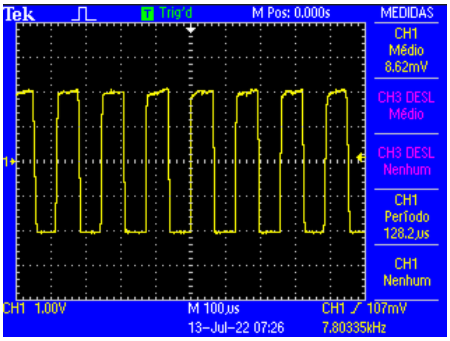
Figura 28 - Imagens com sinais do encoder em várias velocidades.



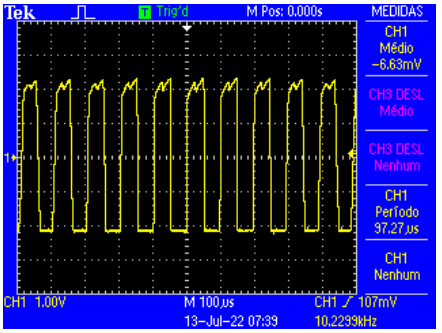
(a) - Leitura do Osciloscópio à 0.50 km/h



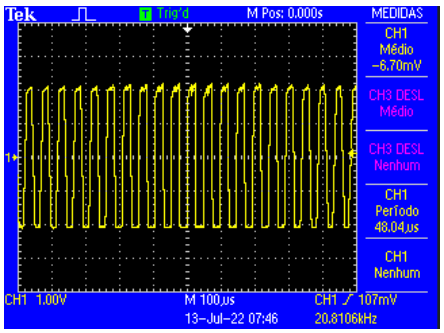
(b) - Leitura do Osciloscópio à 1.00 km/h



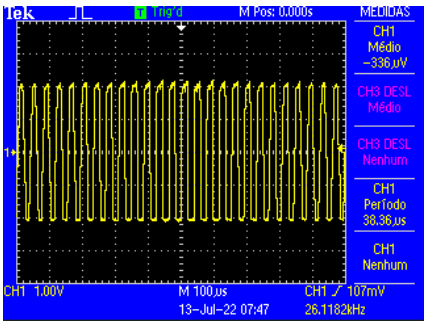
(c) -Leitura do Osciloscópio à 1,50 km/h



(d) - Leitura do Osciloscópio à 2,00 km/h



(e) - Leitura do Osciloscópio à 4,00 km/h



(f) - Leitura do Osciloscópio à 5,00 km/h

Fonte: Do Autor (2022).

Através da leitura e análise das imagens retiradas do osciloscópio, foi possível tabelar os valores adquiridos e realizar a comparação com o segundo método utilizado. Os resultados foram discutidos e estão no capítulo 4 deste trabalho.

3.5. Desenvolvimento da Interface IHM e seus Modos de Operação

Pensando na interface IHM foi desenvolvido uma interface mais amigável e de fácil utilização, sem a necessidade de pessoas com conhecimento técnico poderem utilizar a esteira. Ao energizar inicia-se a tela de boas vindas, onde é apresentado o nome do projeto, as instituições e seus autores, como é possível ver na figura 32.

Após a tela de boas vindas, a tela de seleção de operação é mostrada e apresenta as três opções de escolha. A esteira realiza três modos de operação: Modo Manual, Modo TCFM e Modo TFA. O usuário por sua vez escolhe o modo que deseja utilizar e segue com os procedimentos de teste. Sempre que sair de qualquer um dos modos de operação, retorna-se ao menu principal.

3.5.1. Modo Manual

Nesse modo de funcionamento, a esteira se comporta como qualquer esteira de uso humano, ou seja, após entrar nesse modo, e for dado o comando de Iniciar, permite alterar a velocidade, tanto aumentando quanto reduzindo, a qualquer tempo. Somente sai do Modo Manual quando for acionado o comando de Parar e em seguida Voltar.

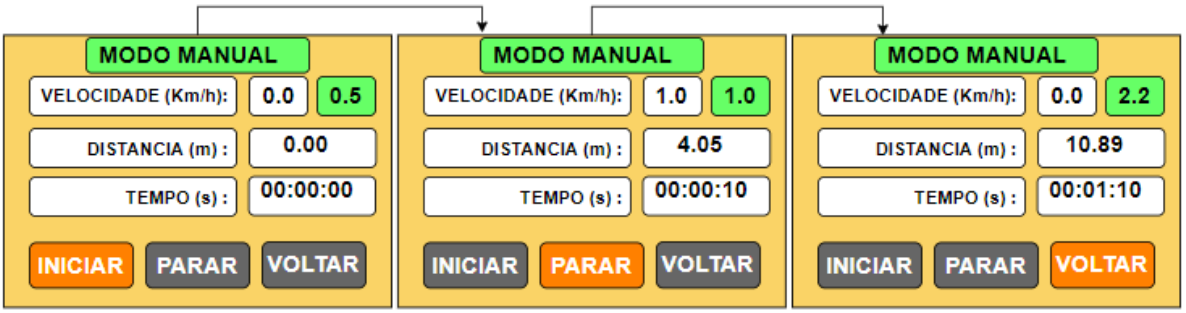
A velocidade de entrada, ou seja, quando for dado o comando de Iniciar, é 0.5 km/h, velocidade mínima de funcionamento. Esse modo permite incrementos na velocidade de 0,1 em 0,1 km/h, até 5,0 km/h, quanto reduzindo, até a velocidade mínima de 0,5 km/h.

Mostra-se constantemente na tela LCD:

- Velocidade atual
- Distância total percorrida
- Tempo de execução

Esses valores são mantidos ao dar-se o comando Parar, finalizando o movimento da esteira e permitindo que o usuário colete as informações antes de reiniciar o ciclo. O comando Voltar estará sempre habilitado quando a esteira não estiver em funcionamento. Na figura 29 vê-se 3 telas em 3 situações distintas do modo Manual.

Figura 29 - Modo Manual



Fonte: Do Autor (2022).

3.5.2. Modo TCFM (Teste de Capacidade Física Máxima)

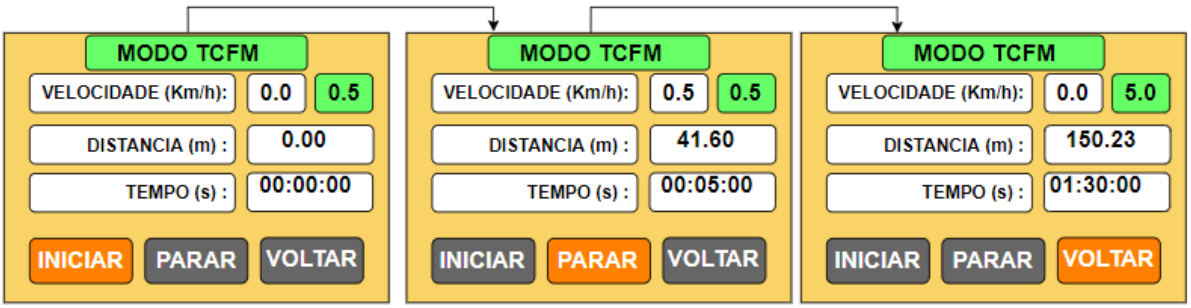
Nesse modo de funcionamento, diferentemente do Modo Manual, a esteira não permite a seleção de velocidade, ou seja, é um teste físico já pré-programado. Ao dar o comando Iniciar realiza-se um teste incremental, constituindo-se de 5 minutos de aquecimento a 0,5 km/h, seguidos de um aumento na velocidade de 0,1 km/h a cada 2,5 minutos, até o limite de velocidade da esteira que é de 5,0 km/h.

Mostra-se constantemente na tela LCD:

- Velocidade atual
- Distância total percorrida
- Tempo de execução.

Esses valores são congelados ao dar o comando de Parar, para permitir que o usuário colete as informações antes de reiniciar o ciclo e o comando Voltar estará sempre habilitado quando a esteira não estiver em funcionamento. Na figura 30 mostra-se 3 telas com informações em 3 situações distintas (iniciar, parar e voltar).

Figura 30 - Modo TCFM



Fonte: Do Autor (2022).

3.5.3. Modo TFA (Treinamento Físico Aeróbico)

Neste modo, diferentemente dos demais, é necessário a seleção da velocidade e do tempo máximo de operação, uma vez que a velocidade será sempre constante até o término do período programado.

Após definidos, não é permitido alterar a velocidade manualmente.

Mostra-se constantemente na tela LCD:

- Velocidade atual
- Distância total percorrida
- Tempo de execução.

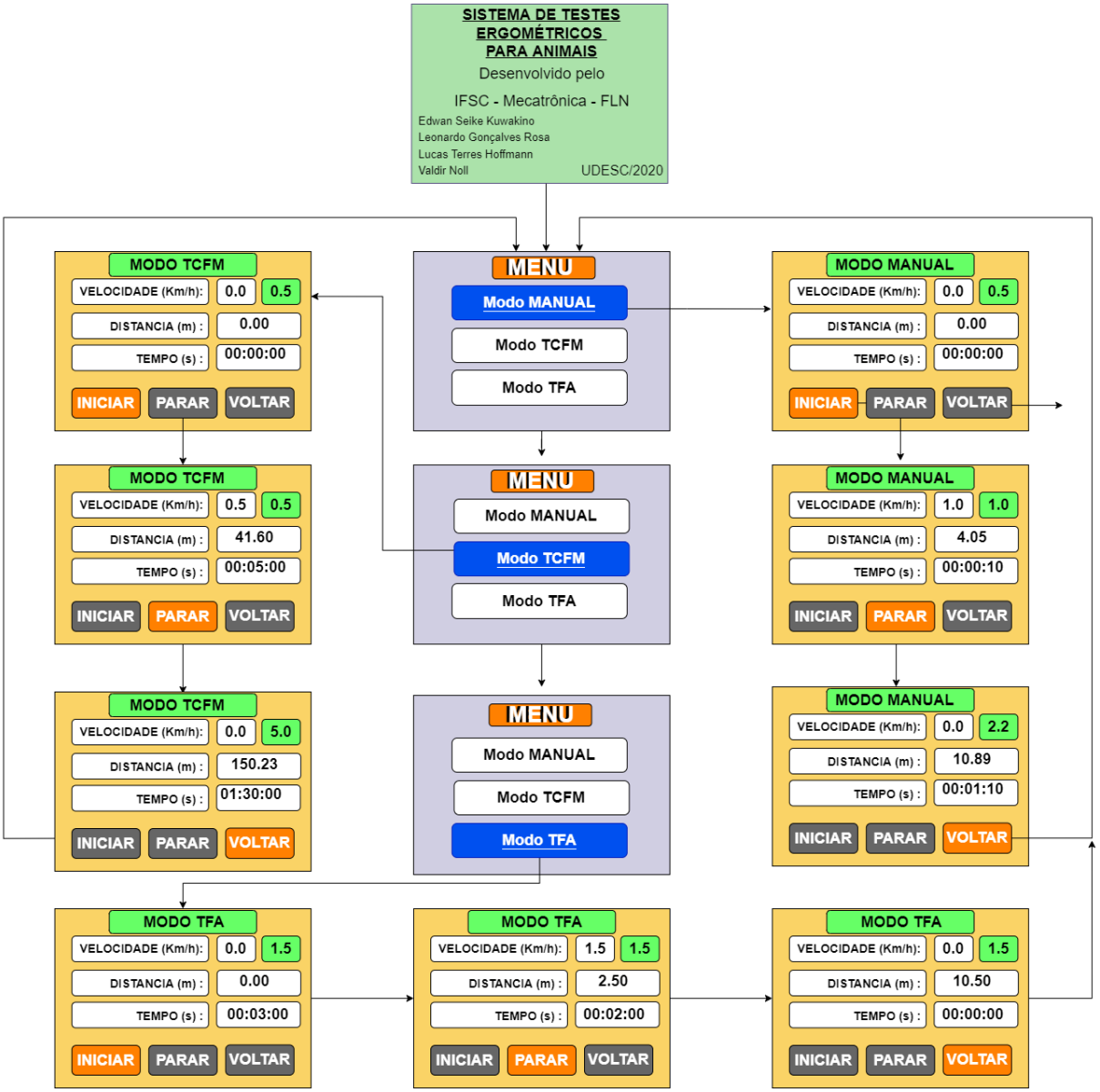
Esses valores são congelados ao dar o comando de Parar, para permitir que o usuário colete as informações antes de reiniciar o ciclo e o comando Voltar estará sempre habilitado quando a esteira não estiver em funcionamento. Na figura 31 mostra-se 3 telas com informações em 3 situações distintas (iniciar, parar e voltar)

Figura 31 - Modo TFA

Fonte: Do Autor (2022).

A figura 32 demonstra o fluxograma completo de ações e como cada tela se comporta de acordo com o comando selecionado.

Figura 32 - Fluxograma de funcionamento da Esteira



Fonte: Do Autor (2022).

3.6. Projeto e Desenvolvimento do Circuito Eletrônico de Controle

Depois de executada a etapa de validação e de desenvolvimento da interface IHM, que era um dos requisitos essenciais para o projeto, foi iniciada a prototipação do circuito eletrônico. Para realizar o comando do projeto, o kit de desenvolvimento ESP-WROM-32, contendo o microcontrolador ESP32 foi utilizado como placa microcontroladora principal, por possuir dois núcleos, sendo que um deles está dedicado para o controle das interrupções do sistema, criando um cronômetro sem atrasos e o segundo núcleo foi dedicado para controlar os demais processos do sistema. O Arduino Nano foi usado somente para receber as informações do encoder e enviar, via interface serial para o módulo ESP32, dado contendo a informação da velocidade em km/h, a cada 1 segundo.

Para efetuar a conversão dos sinais recebidos pelo encoder e transmitir para o ESP32 na unidade a qual foi solicitada, o Arduino Nano realiza cálculos matemáticos para relacionar a rotação com a velocidade.

O LCD recebe dados da ESP32 e informa ao usuário o que é necessário para comandar a esteira, sendo facilitada a leitura das informações ali mostradas.

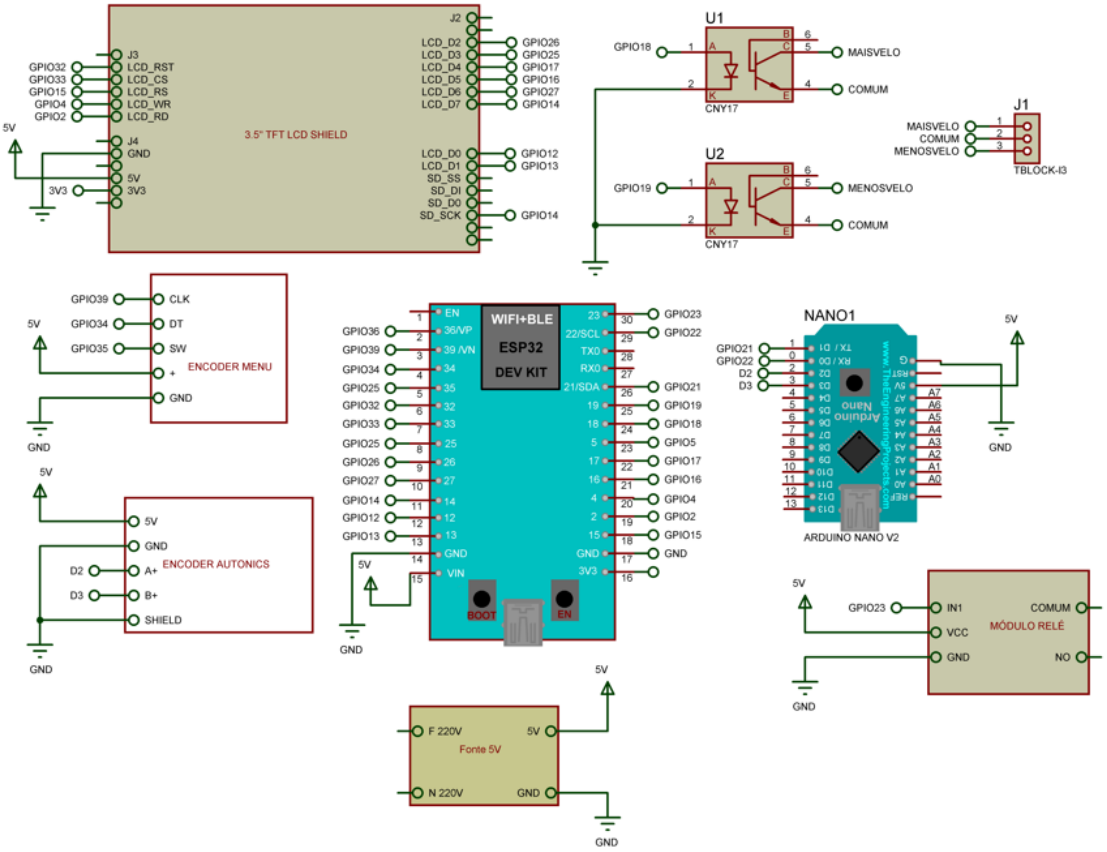
No quesito de comandar a IHM, foi adicionado um botão rotativo para os menus, podendo controlá-lo diretamente por um único comando, girando ou apertando o botão para selecionar o comando desejado. Esse botão é um componente usado em medição de rotação ou ângulos, desenvolvido com a finalidade de converter movimentos rotativos (ou lineares) em impulsos elétricos de onda quadrada.

Para enviar os sinais de comandos de aumentar ou diminuir a velocidade foi usado dois optoacopladores, visto que não era possível a conexão diretamente ao ESP32 devido aos referenciais de tensão serem diferentes, e se fossem ligados diretamente, poderia ocorrer a queima do kit de desenvolvimento ESP32. Então, os optoacopladores, que isolam as entradas e saídas, realizam os contatos entre as entradas do inversor de frequência e o ESP32.

Por não ter mais informações sobre o inversor, não foi encontrado nenhuma entrada em que ao receber um sinal interrompesse o movimento do motor, então, foi utilizado um módulo relé conectado em série com a chave liga/desliga da própria esteira, esse por sua vez, quando recebe a informação de desligar a esteira, abre o contato e o movimento da esteira é interrompido.

A figura 33 mostra o esquema de ligações da placa de controle proposta.

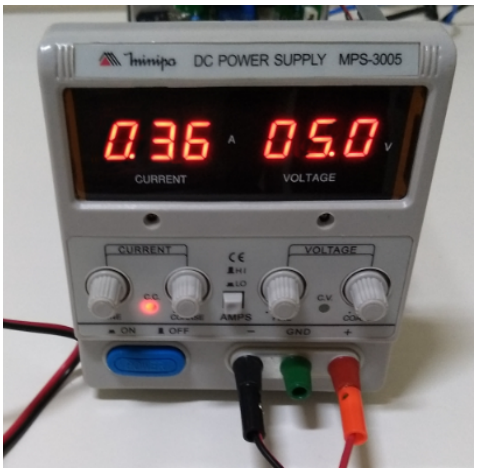
Figura 33 - Esquemático do projeto



Fonte: Do Autor (2022).

Para alimentar todo o circuito eletrônico, uma fonte de 5V/1A foi utilizada, visto que o consumo máximo de corrente, como visto na figura 34, é de 0,3A, então a fonte escolhida terá uma boa margem de segurança.

Figura 34 - Consumo de corrente máxima do sistema



Fonte: Do Autor(2022).

Uma vez que os pinos foram definidos no esquemático, uma tabela de conexões elétricas foi criada para poder dar manutenção de maneira mais simples e rápida, caso necessário, como pode ser visto na tabela 4.

Tabela 4 - Relação de Pinagem entre os Componentes

Pino ESP32	Componente	Função
GPIO 2	Display	Display-RD
GPIO 4	Display	Display-WR
GPIO 12	Display	Display-D0
GPIO 13	Display	Display-D1
GPIO 14	Display	Display-D7
GPIO 15	Display	Display-RS
GPIO 16	Display	Display-D5
GPIO 17	Display	Display-D4
GPIO 18	Optoacoplador	Aumentar Velocidade
GPIO 19	Optoacoplador	Diminuir Velocidade
GPIO 21	Arduino Nano	RX1
GPIO 22	Arduino Nano	TX1
GPIO 23	Módulo Relé	Desligar o Motor
GPIO 25	Display	Display-D3
GPIO 26	Display	Display-D2
GPIO 27	Display	Display-D6
GPIO 32	Display	Display-RST
GPIO 33	Display	Display-CS
GPIO 34	Botão Navegação	DT
GPIO 35	Botão Navegação	SW
GPIO 39	Botão Navegação	CLK

Fonte: Do Autor (2022).

Depois de finalizado o esquemático, seguiu-se para a etapa de soldar os componentes em uma placa protótipo. Para realizar esse processo, utilizou-se uma estação de solda com temperatura controlada em 300°C e a solda da Cobix® (63% estanho e 37% chumbo). A figura 35 mostra a placa soldada e pronta para o uso.

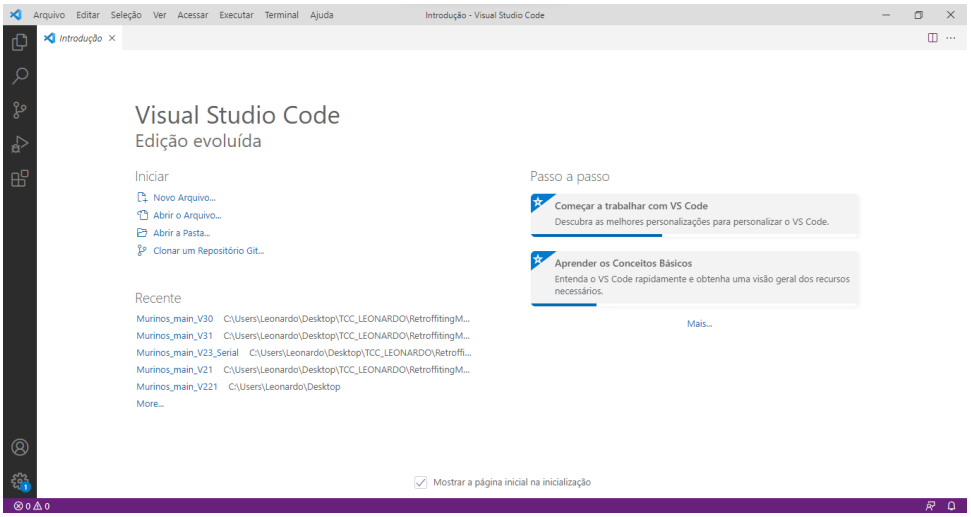
Figura 35 - Placa protótipo finalizada

Fonte: Do Autor (2022).

3.7. Desenvolvimento do *Software*

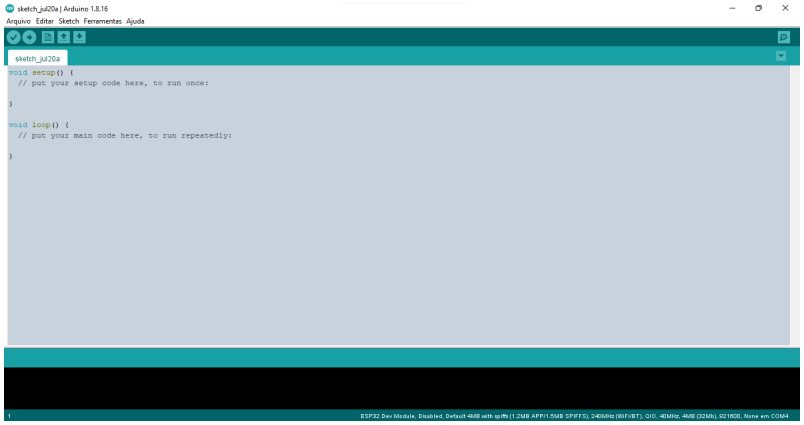
O desenvolvimento do *software* foi dividido em duas etapas. A primeira etapa foi a programação do ESP32 e a segunda etapa foi realizada a programação do Arduino Nano, utilizando a linguagem do Arduino IDE. Através do *software* Visual Studio Code, foi realizada a programação e através do Arduino IDE, foi realizada a gravação nos kits de desenvolvimento, suas telas iniciais podem ser visualizadas através das figuras 36 e 37 respectivamente.

Figura 36 - Tela do Visual Studio Code



Fonte: Do Autor (2022).

Figura 37 - Tela do Arduino IDE



Fonte: Do Autor (2022).

3.7.1. *Software* do ESP32

O desenvolvimento do *software* baseou-se na linguagem de programação C + +. Por necessitar de uma um cronômetro em tempo real, utilizou das funções do freeRTOS, nativo da programação da ESP32, para essa finalidade. Um dos motivos da escolha do ESP32 é por possuir dois núcleos, um desses núcleos foi reservado especificamente para a realização do timer, sem que houvesse qualquer interferência das demais funções realizadas em paralelo.

O início do código se dá pela definição dos pinos e suas funções e em seguida entra em uma das máquinas de estados desenvolvidos.

Devido à necessidade de três modos de operações, Manual, TCFM e TFA, criou-se uma enumeração para simbolizar os estados de uma máquina de estados, com quatro casos, uma para cada modo e uma para o menu principal para poder escolher qual modo será realizado, como visto na figura 38.

Figura 38- Máquina de estados dos modos de operação

```
enum menus
{
  PRINCIPAL,
  MANUALL,
  TCFM,
  TFAA
};
enum menus menu;
```

Fonte: Do Autor (2022).

Além dos menus, outras máquinas de estados foram desenvolvidas, uma máquina de estado para a seleção dos comandos (Iniciar, Parar e Voltar), e, uma máquina de estados para realizar os envios de pulso ao inversor, como pode ser visto na figura 39.

Ao realizar os testes com o inversor, foi descoberto que o mesmo já possui um controle de malha fechada de velocidade, mantendo a velocidade definida sem variações, mesmo com carga na esteira, por isso não foi necessário realizar a implantação de um controle em malha fechada no nosso sistema, apenas um controle on-off por histerese.

No controle ON-OFF por histerese, o microcontrolador envia pulsos para aumentar ou diminuir a velocidade e quem atua e controla a velocidade é o inversor de frequência.

Figura 39- Máquinas de estados dos comandos e envio de pulsos

```
enum comandos
{
  INICIAR,
  PARAR,
  VOLTAR,
  CONFIRMAR
};
enum comandos comando;
```

```
enum comandovelocidade
{
  aumentarVelocidade,
  diminuirVelocidade,
  mesmaVelocidade
};
enum comandovelocidade Velocidade;
```

Fonte: Do Autor (2022).

Para realizar a leitura e gravação dos dados, uma estrutura de dados global foi desenvolvida para que qualquer modo de operação possa ser chamada e conseguir utilizá-la a qualquer momento, conforme mostra a figura 40.

Figura 40 - Estrutura Global de Dados

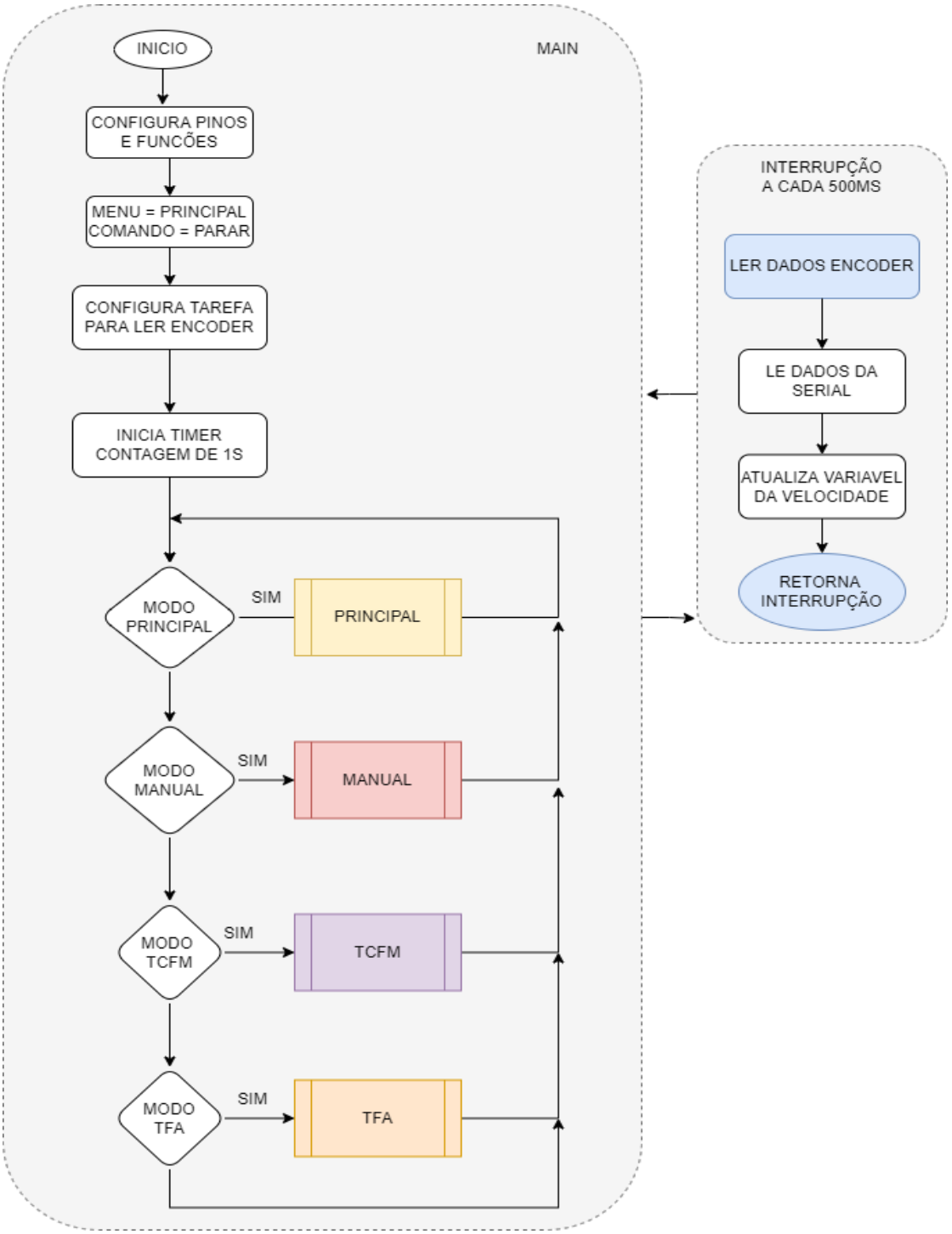
```
struct Dados
{
  float velocidade;
  float distanciaAcumulada;
  float distancia1s;
  long tempo;
  float config_velocidade;
  long config_tempo;
};
struct Dados DadosEnsaio;
struct Dados *pDadosEnsaio = &DadosEnsaio;
```

Fonte: Do Autor (2022).

Em paralelo a essas funções, o ESP32 recebe as informações do Arduino Nano a cada 500ms e atualiza em sua base de dados. O fluxograma geral pode ser visto na figura 41. Cada

modo de operação também segue uma sequência lógica que podem ser vistas através das figuras 42, 43, 44 e 45.

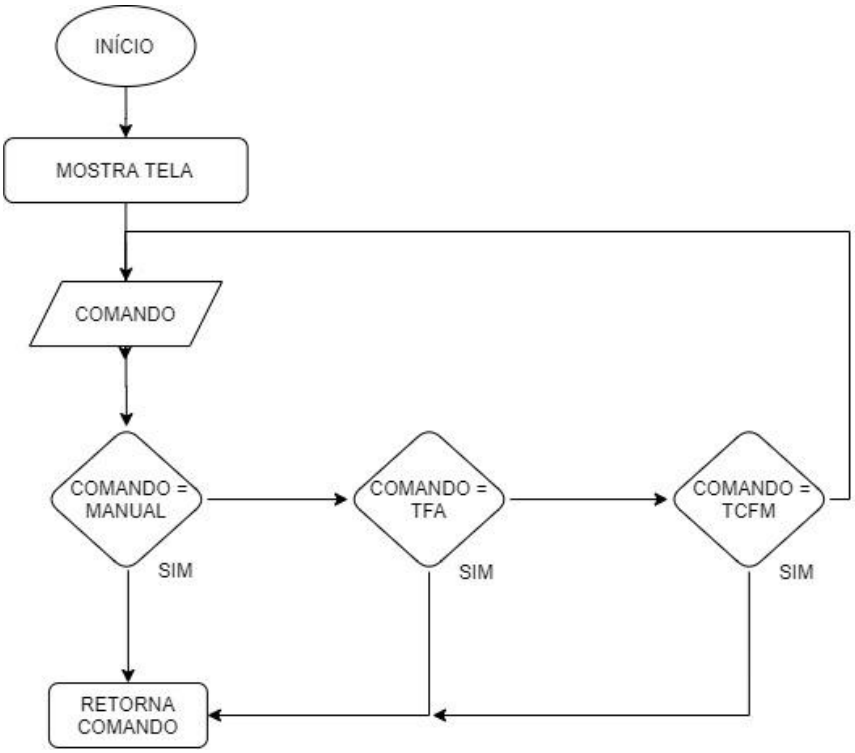
Figura 41 - Fluxograma Geral do *Software* do ESP32



Fonte: Do Autor (2022).

A figura 42 descreve o funcionamento do Modo Principal no software do sistema. Ele permite a seleção de qual modo o usuário deseja utilizar e uma vez que sai do modo escolhido retorna ao Modo Principal.

Figura 42 - Fluxograma do *Software* do Modo Principal

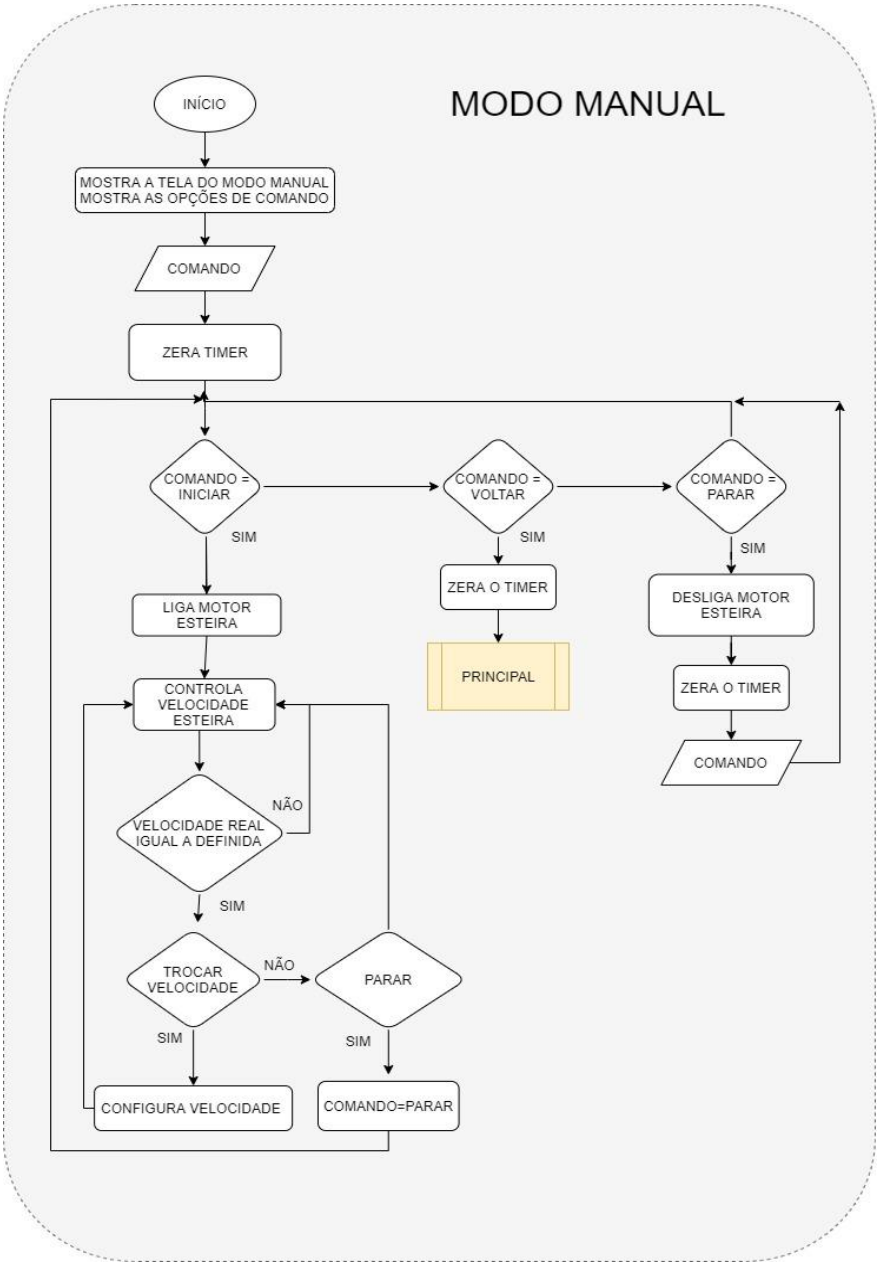


Fonte: Do Autor (2022).

A figura 43 demonstra o funcionamento do Modo Manual no *software* do sistema. Basicamente no modo manual, controla-se a velocidade da esteira permitindo que o usuário

altere a velocidade em tempo de execução. Permite também parar a esteira ou permite voltar ao Menu principal.

Figura 43 - Fluxograma do *Software* do Modo Manual

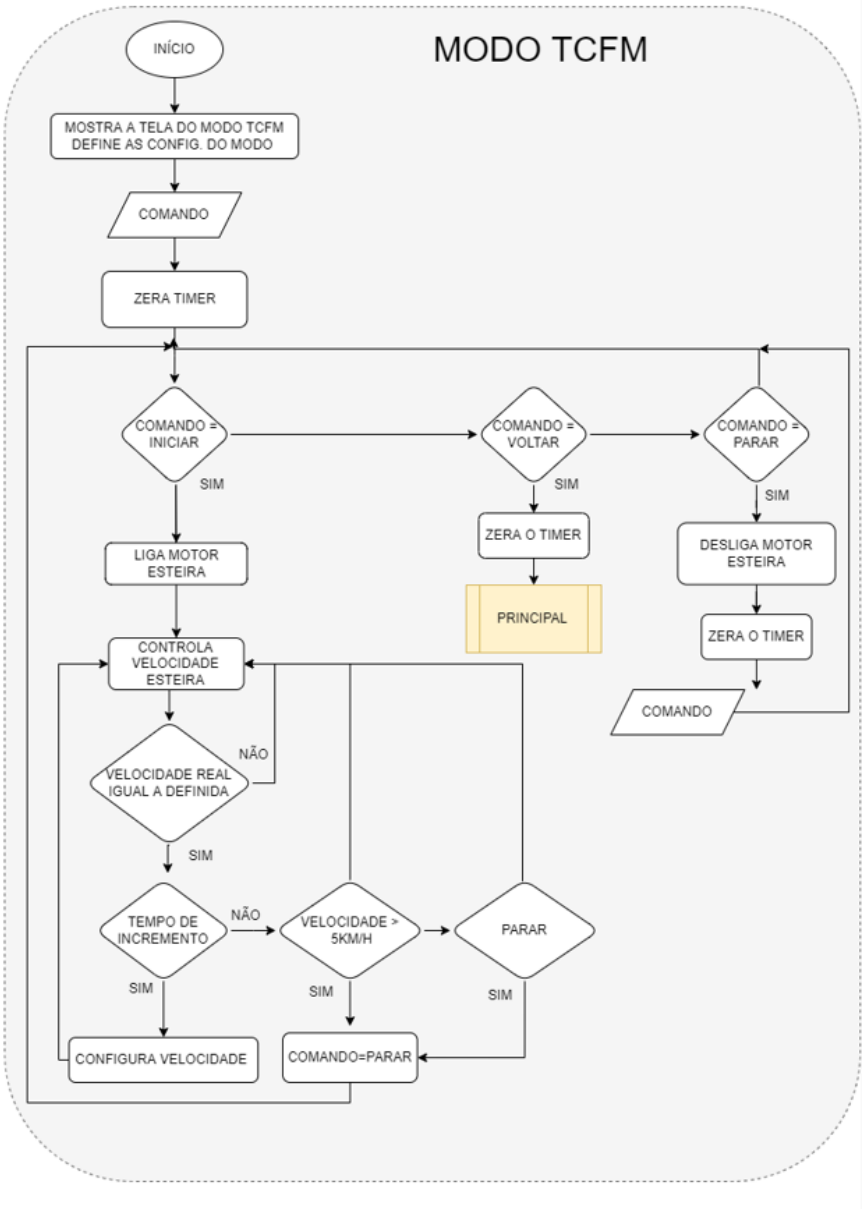


Fonte: Do Autor (2022).

A figura 44 demonstra o funcionamento do Modo TCFM no *software* do sistema. No Modo TCFM, controla-se a velocidade da esteira automaticamente e é incrementada

automaticamente a cada intervalo de tempo e termina quando a velocidade chega a 5 km/h. Permite também parar a esteira ou permite voltar ao Menu principal.

Figura 44 - Fluxograma do *Software* do Modo TCFM

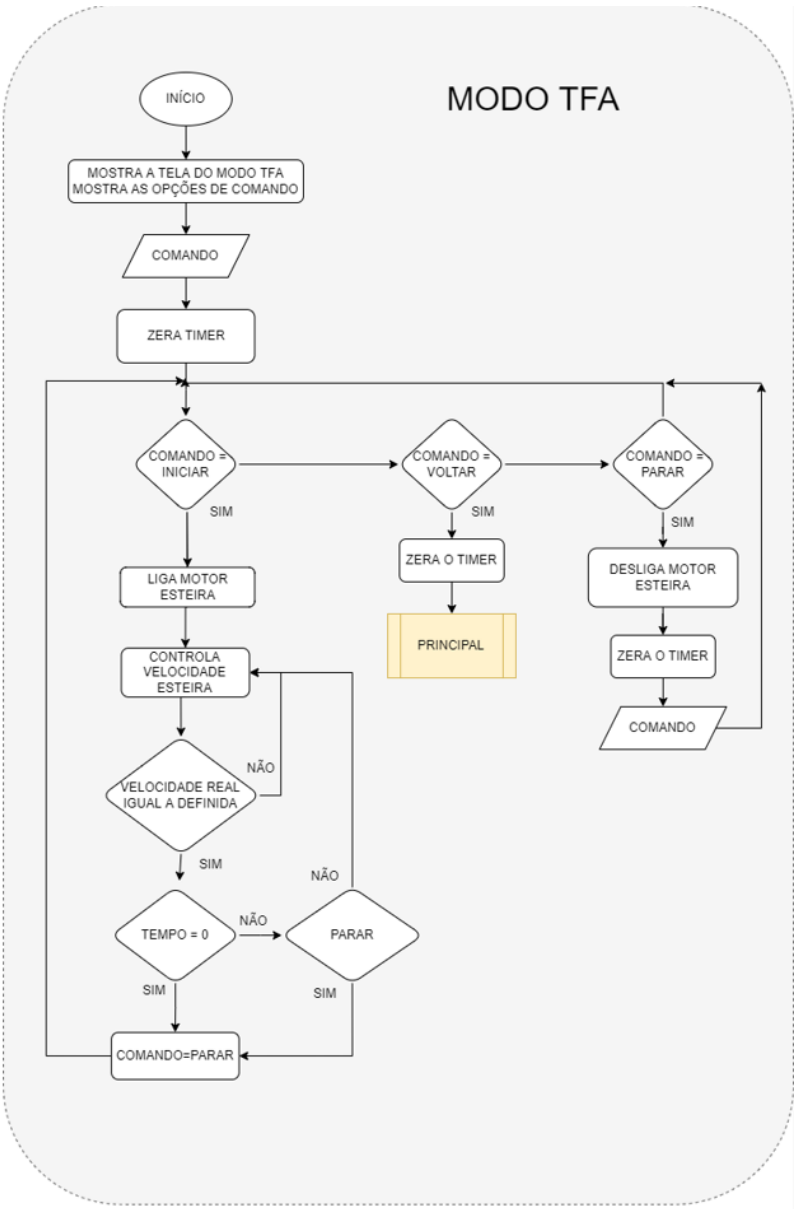


Fonte: Do Autor (2022).

A figura 45 demonstra o funcionamento do Modo TFA no *software* do sistema. No Modo TFA o usuário define a velocidade e o tempo total da atividade, após esse período a

esteira cessa o movimento. Permite também parar a esteira ou permite voltar ao Menu principal.

Figura 45 - Fluxograma do *Software* do Modo TFA

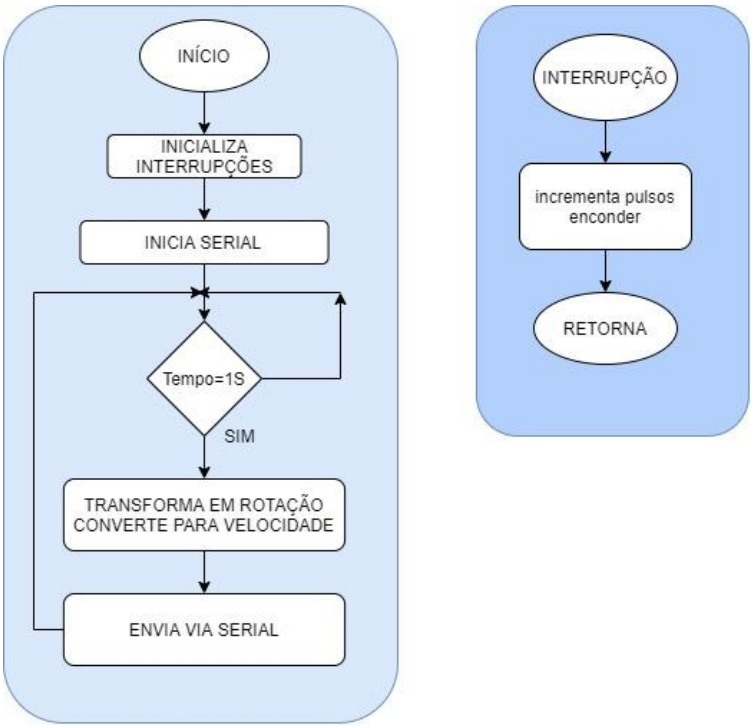


Fonte: Do Autor (2022).

3.7.2. *Software* do Arduino Nano

O software do Arduino Nano, foi desenvolvido na linguagem do Arduino IDE por ser simples, e realiza o cálculo matemático relacionando o número de pulsos recebidos pelo encoder, transformando-a em rotação e assim velocidade. Ao visualizar a figura 46, pode-se observar o fluxograma do código desenvolvido.

Figura 46 - Fluxograma do *Software* do Arduino Nano



Fonte: Do Autor (2022).

O cálculo de velocidade foi através da equação 6 onde a velocidade é diretamente proporcional em relação a rotação, pois o diâmetro da polia utilizada é de 51mm.

$$C = 2 \times \pi \times r \qquad (3)$$

A equação 3 exibe a relação entre o comprimento da circunferência (C), onde depende de pi (π) e do raio (r) da polia.

A equação 2 é a relação entre o diâmetro da polia (D) e o raio (r)

$$D = 2 \times r \qquad (4)$$

Substituindo o raio na equação 1:

$$C = \pi \times D \qquad (5)$$

Sabendo da equação do comprimento da circunferência em relação ao diâmetro (3), ao substituir na equação de velocidade, temos a equação que relaciona proporcionalmente a rotação com a velocidade.

$$V(km/h) = \frac{2 \times r \times \pi \times RPM \times 60}{1000}$$

$$V(km/h) = \frac{\pi \times 0{,}051\ (m) \times 60\ (min) \times RPM}{1000}$$

$$V(km/h) = 0,009613 \times RPM \qquad (6)$$

Ao utilizar como referência a rotação encontrada através dos cálculos utilizando as informações adquiridas pelo osciloscópio, que foi de 40,34 rpm, obtemos o resultado que foi alcançado ao utilizar um dos métodos de validação.

$$V(km/h) = 0,009613 \times 40,34 = 0,3878\ km/h$$

-

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Depois de todas as etapas finalizadas, fez-se a análise dos resultados.

Realizou-se a comparação entre os resultados obtidos através do método de verificação de velocidade usando o osciloscópio e o método através do *software* de vídeo, analisando o espaço percorrido e o tempo que necessitou para realizar essa ação. Com isso, foi possível encontrar a diferença entre os dois métodos de validação em algumas faixas de velocidades verificadas, na tabela 5 abaixo.

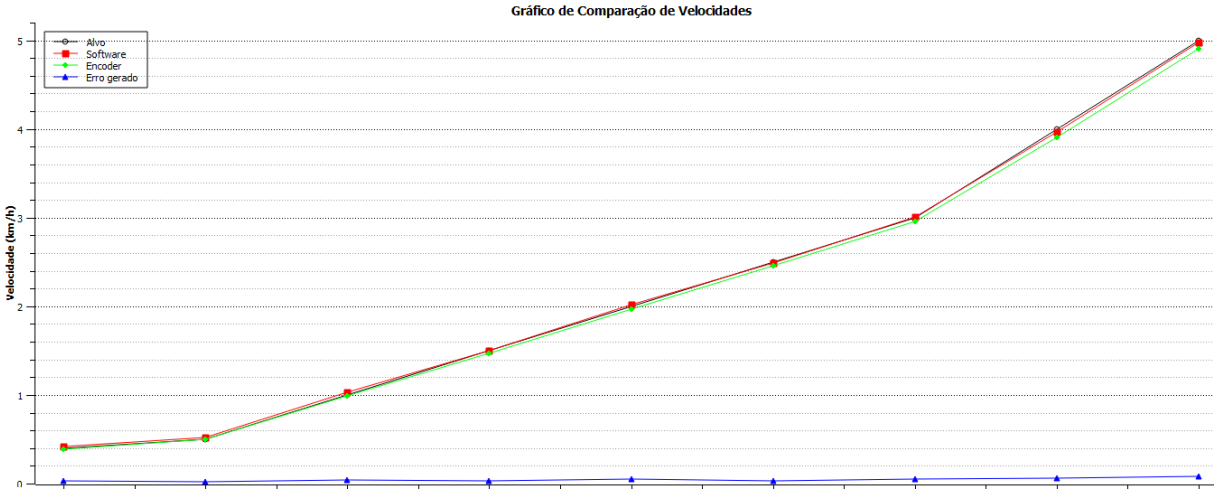
Tabela 5 - Comparação de resultados entre encoder e *software* de vídeo

Velocidade Desejada (km/h)	Velocidade através do encoder (km/h)	Velocidade através do *software* de vídeo (km/h)	Diferença (km/h)
0,40	0,39	0,42	0,03
0,50	0,50	0,52	0,02
1,00	0,99	1,03	0,04
1,50	1,47	1,50	0,03
2,00	1,97	2,02	0,05
2,50	2,46	2,49	0,03
3,00	2,96	3,01	0,05
4,00	3,91	3,97	0,06
5,00	4,90	4,98	0,08

Fonte: Do Autor (2022).

A partir da tabela 5, obteve-se o gráfico relacionando as velocidades e o diferença gerado entre cada método, como observa-se na figura 47.

Figura 47 - Gráfico correlacionando as velocidades encontradas e o erro



Fonte: Do Autor (2022).

Os resultados indicam que os dois métodos de medição de velocidade obtêm resultados próximos, mas por serem métodos não correlacionados, nada podemos dizer quanto ao erro absoluto das informações. Não dispomos, no IFSC, de instrumento aferido que possa nos informar a velocidade linear para comparar com os valores obtidos. Futuramente, pretende-se obter esses dados para comparação e eventual correção nos valores obtidos.

Enquanto realizava a programação da Interface Serial entre o ESP32 e o Arduino Nano, observou-se que a UART2 (Portas de Transmissão e Recepção de Informações) do ESP32 tem como padrão os GPIOs 16 e 17, porém os mesmos estavam sendo usados como portas do display. Então para realizar a conexão, sem ter que alterar todo o circuito eletrônico foi necessário alterar a biblioteca Serial Hardware da ESP32 para os GPIOs 21 e 22, assim conseguindo realizar a transmissão de informações do Arduino Nano para o ESP32

Ao analisar os pulsos enviados manualmente dos botões físicos originais da esteira para o inversor, antes de realizar a automação, observou-se que a média de velocidade que cada pulso enviado alterava é próximo a 0,05 km/h, fazendo com que a média de pulsos enviados a cada aumento de velocidade real, que no projeto é de 0,10 km/h seja de 2 pulsos.

Ao realizar a primeira tentativa de controle, o ESP32 não foi capaz de controlar a esteira, mesmo utilizando o mesmo referencial de tensão, por trabalharem com tensões diferentes. Foi necessário o uso de optoacopladores, assim realizando a função adequadamente.

Quando há algum sobressinal, aumentando em excesso a velocidade ou diminuindo, o controlador entende que há uma diferença de velocidade e o mesmo envia um pulso para poder efetuar uma correção. O inversor se encarrega de aumentar ou diminuir a velocidade, e

a ESP32 lê a velocidade e envia pulso, quando necessário, após uma comparação entre a velocidade definida pelo usuário e a velocidade real do sistema.

Alguns problemas foram encontrados, tais como: o ruído causado pelo motor trifásico, visto que ao realizar o movimento, gera bastante ruído nos demais equipamentos ao redor, uma característica comum de qualquer motor CA trifásico. Além desse problema, o uso do Arduino Nano para converter esses sinais recebidos pelo encoder e transferir via Interface Serial, por ser assíncrono, pode perder alguma informação durante a transmissão dos dados.

Por ser uma esteira inicialmente projetada apenas para uso humano e sem nenhum fim de automatizá-la, ao realizar o projeto de acoplamento do encoder viu-se necessário a adaptação de um eixo adicional, e a confecção de um suporte para o encoder, pois não era possível acoplar e realizar as medições de velocidade. Através de um eixo usinado de polímero, e um suporte adaptado às furacões do encoder, a medição foi realizada e os resultados foram alcançados.

A interface IHM desenvolvida teve o foco na utilização, priorizando a facilidade e a resposta com o usuário. Deu-se a esse item um valor adicional, e por isso desenvolveu-se uma interface simples e objetiva, para ser usado por pessoas não técnicas da área de engenharia. A interface IHM preza pela facilidade de entendimento do funcionamento, facilidade de inserção de dados, de maneira intuitiva, de operação simples.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi descrito o desenvolvimento do *retrofitting* de uma esteira de seres humanos para testes ergométricos em ratos e camundongos de uso laboratorial. Como demonstrado ao longo deste relatório, verificou-se que o projeto por completo funciona dentro do que se esperava.

A automatização da esteira, apesar de ter sido trabalhosa, visto todos os desafios que foram surgindo durante o processo de desenvolvimento, mostra um resultado satisfatório e funcional.

Apesar do display utilizado possuir uma resolução ótima para o que é proposto, seu modo de operação é um pouco lento, então viu-se necessário algumas adaptações no *software* para que a taxa de atualização fosse satisfatória e não incomodasse quem o utilizava.

Durante o processo de desenvolvimento, alguns problemas foram sendo descobertos, como o modo de funcionamento do inversor, possuindo um controle interno e apenas sendo capaz de ser automatizado recebendo pulsos para aumentar ou diminuir a velocidade, dando a possibilidade de realizar o controle por histerese.

Por fim, este projeto foi muito interessante, pois foram usados muitos ensinamentos adquiridos durante o curso, integrando várias áreas de conhecimento da mecatrônica, como a mecânica ao realizar a adaptação do eixo para o encoder, a eletrônica ao desenvolver o circuito do hardware utilizado e a programação que foi a maior etapa deste projeto.

Dentre as melhorias sugeridas para o projeto, a aferição da velocidade é um dos tópicos mais relevantes, necessitando de um instrumento adequado para isso. Outro problema é que não podemos controlar a velocidade na resolução decimal, visto que, por não utilizar um controle PID diretamente com o hardware desenvolvido e é o inversor quem faz esse controle, estamos limitados ao controle do inversor. Para realizar tal melhoria, a troca do motor e do inversor seriam necessários, visto que não foi descoberto outro modo de controle do inversor na atual da esteira.

Outra melhoria que pode ser implementada é um *datalogger* das informações obtidas durante o teste, armazenando essas informações em algum dispositivo removível ou até mesmo na nuvem, visto que o ESP32 disponibiliza de conexão com a internet, para que os usuários possam realizar os testes e visualizar o processo posteriormente através de algum *software* específico em computador, celular ou diretamente na WEB.

6. REFERÊNCIAS

Bonacorso, N.G. Noll, V. **Automação Eletropneumática.** Editora Érica. 2015.

Golnaraghi, F. Kuo, B.C**. Sistemas de Controle Automático.** 9a. edição, Editora LTC.Bhuyan M.

Instrumentação Inteligente: Princípios e Aplicações; Editora LTC.

Katsuhiko Ogata. **Engenharia de Controle Moderno**,5a. Edição. 2011.

Pearson Education.Tocci, Ronald J. Widmer,Neal S. **Sistemas Digitais - Princípios e Aplicações** - 8a Edição 2003, Prentice Hall.

Rosário, J.M. **Principios de Mecatronica**, Prentice Hall.

Bischur, Daniel. Trabalho com camundongos em pesquisa imunológica. Ligação, emoções e cuidado. **RECIIS – R. Eletr. de Com. Inf. Inov. Saúde. Rio de Janeiro,** v.2, n.1, p.29-37, jan.-jun., 2008

Chorilli, M. Paganotte. D.M. Salgado. H. Animais de laboratório: o camundongo. **Rev. C iênc. Farm. Básica Apl.**, v. 28, n.1, p.11-23, 2007.

Do Bit ao Byte. **Interrupção e Timer com Arduino.** Disponível em: https://www.dobitaobyte.com.br/interrupcao-e-timer-com-arduino. Acesso em: 13 abr. 2022.

Do Bit ao Byte. **ISR - Interrupções e Timer com ESP32.** Disponível em: https://www.dobitaobyte.com.br/interrupcao-e-timer-com-arduino. Acesso em: 14 abr. 2022.

OpenLab Pro. **Timer on ESP32.** Disponível em: https://openlabpro.com/guide/timer-on-esp32. Acesso em: 14 abr. 2022.

DYNAPAR. Innovation - Customization - Delivery. **How to Measure Conveyor Belt Speed with Encoders.** Disponível em: https://www.dynapar.com/Knowledge/Applications/Measure_Conveyor_Speed_with_Encoders. Acesso em: 25 jun. 2022.

Mokka-Sensors. **Medição da Velocidade De Esteiras de Forma Indireta Utilizando Através do Eixo de um Motor.** Disponível em: https://www.mokka-sensors.com.br/2020/03/30/velocidade-de-esteiras-com-esteiras-mokka-sensor. Acesso em: 01 jul. 2022.

PET EEFE-USP. **Exercício Aeróbio e Flexibilidade.** Disponível em: http://citrus.uspnet.usp.br/biomecan/pet/arquivos/Exercicio-Aerobio-e-Flexibilidade.pdf. Acesso em: 10 jul. 2022.

S & P. **O que é um Motor Trifásico.** Disponível em: https://www.solerpalau.com.br/blog/motores/154/o-que-e-um-motor-trifasico. Acesso em: 12 jul. 2022.

Mattede, Henrique. Mundo Da Elétrica. Motor Trifásico. **Como funciona e qual sua aplicação?** Disponível em: https://www.mundodaeletrica.com.br/motor-trifasico-como-funciona-e-qual-sua-aplicacao. Acesso em: 28 mar. 2022.

DYNAPAR. Innovation - Customization - Delivery. **Encoder óptico: comparativo com encoder magnético.** Disponível em: https://www.dynaparencoders.com.br/blog/encoder-optico-comparativo-com-encoder-magnetico. Acesso em: 29 jun. 2022.

Cap Sistema. **Guia da placa Arduino Nano.** Disponível em: https://capsistema.com.br/index.php/2020/11/10/guia-da-placa-arduino-nano-pinagem-especificacoes-comparacao/Pinagem_do_Arduino_Nano. Acesso em: 13. mar. 2022.

Maike Tech. **O que é um inversor de frequência?** Disponível em: https://maiketech.blogspot.com/2020/06/o-que-e-um-inversor-de-frequencia.html. Acesso em: 24 jun. 2022.

AGTechnologies. **Tela TFT. O que é e como é utilizado na indústria eletrônica.** Disponível em:https://www.blog.agte.com.br/post/tela-tft-o-que-e-e-como-e-utilizado-na-industria-eletronica.Acesso em: 16 jul. 2022.

Chaves, Cleiton V. **Cálculo de rpm em conjuntos redutores de velocidade.** Disponível em: https://eng-cleitonchaves.blogspot.com/2016/03/calculo-de-rpm-em-conjuntos-redutores.html Acesso em: 15 abr. 2022.

Frankenfeld, S. P. Lopes, G.C. Boaventura, G. Conceição, E. P. S. Oliveira, E. Moura, E. Lisboa, P. **EFEITOS DO TREINAMENTO EM ESTEIRA EM RATOS ADULTOS OBESOS PROGRAMADOS PELA SUPERALIMENTAÇÃO PÓS-NATAL, FAPERJ, Rio de Janeiro,** v.12, n. 1, 2016.

Ram FS, Robinson SM, Black PN, J. Picot. **Physical training for asthma. Cochrane DatabaseSyst**, Rev. 2005 Oct 19;(4):CD001116.

Engstrom I, Fall Strom K, Karlberg E, Stein G, Bjure J. **Psychological and respiratory physiological effects of a physical exercise programme on boys with severe asthma.** ActaPaediatr Scand. 1991 Nov;80(11):1058-65.

Huang SW, Veiga R, Sila U, Reed E, Hines S. **The effects of swimming in asthmatic children- participants in a swimming program in the city of Baltimore**. J Asthma. 1989;26(2):117-21.

Ramazanoglu YM, Kraemer resposta R. **Cardiorespiratory responses to physical conditioning in children with bronchial asthma. Pediatr Pulmonol**. 1985 Sep-Oct;1(5):272-7.

Szentagothai K, Gyene I, Szocska M, Osvath P. **Physical exercise program for children with bronchial asthma. Pediatr Pulmonol.** 1987 May-Jun;3(3):166-72.

Neder JA, Nery LE, Silva AC, Cabral ALB, Fernandes ALG. **Short-term effects of aerobic training in the clinical management of moderate to severe asthma in children**. Thorax. 1999 Mar;54(3):202-6.A Fanelli,

Dalton L. R. Vidor. Rigo, Nataniel. Pinheiro, José Renes. **CONTROLE POR HISTERESE DE UM CONVERSOR CHAVEADO-LINEAR HÍBRIDO PARALELO MULTIBRAÇO. UFSM.** Disponível em: http://coral.ufsm.br/sepoc/sepoc2018/arquivos/papers/93631--field_submission_abstract_file2.pdf. Acesso em: 12 jul. 2022.