

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA

SAMUEL MENECHINI

SISTEMA DE ADVERTÊNCIA NA OPERAÇÃO DE TRATORES

CAXIAS DO SUL

2021

SAMUEL MENEGHINI

SISTEMA DE ADVERTÊNCIA NA OPERAÇÃO DE TRATORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Automotiva na Universidade de Caxias do Sul.

Orientador Prof. M. Ricardo Leal Costi.

CAXIAS DO SUL

2021

SAMUEL MENEGHINI

SISTEMA DE ADVERTÊNCIA NA OPERAÇÃO DE TRATORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Automotiva na Universidade de Caxias do Sul.

Aprovado em

Banca Examinadora

Prof. M. Ricardo Leal Costti
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. M. Adelaír Lino Colombo
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. M. Joel Vicente Ciapparini
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. M. Ricardo Leal Costi por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa.

Aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória.

À minha esposa Jaqueline pela compreensão, paciência e incentivo demonstrada durante o período do projeto e pela ajuda sempre que precisei.

RESUMO

Os tratores agrícolas facilitam o trabalho e aumentam a produtividade na agricultura. Devido ao aumento da mecanização o número de acidentes envolvendo tratores tem aumentado significativamente. Justificado por este crescente número de acidentes, foi apresentado e desenvolvido neste trabalho um dispositivo eletrônico que detecta os possíveis riscos na segurança durante a operação de tratores de pequeno porte, tendo como objetivo alertar o operador quanto a segurança durante as diversas formas de utilização do trator. Para a realização do trabalho foram apresentados os dispositivos de segurança já existentes em tratores assim como uma pesquisa de dispositivos eletrônicos que compõem o sistema de segurança auxiliar, como controladores, sensores do tipo acelerômetros, giroscópios, medidores de velocidade, bem como dispositivos de sinalização sonora. No desenvolvimento do trabalho foram apresentadas as etapas de instrumentação do trator, coleta de dados, implementação do sistema de segurança e a validação dos resultados.

Como resultado foi obtida a comprovação da operação do sistema, provendo ao operador avisos de risco quanto a tombamento lateral, aviso de acionamento da tração em aclives e declives, aviso para o acionamento do freio de estacionamento e da tomada de força acionada.

A operação do sistema se mostrou satisfatória promovendo os avisos de segurança ao operador de acordo com projetado.

Palavras-chave: Acidentes, Trator, Agrícola, Segurança

ABSTRACT

Agricultural tractors make work easier and increase productivity in agriculture. Due to the increase in mechanization, the number of accidents involving tractors has increased significantly. Justified by this growing number of accidents, an electronic device that detects possible safety risks during the operation of small tractors was presented and developed in this work, with the objective of alerting the operator about safety during the different ways of using the tractor. To carry out the work, the safety devices already existing in tractors were presented, as well as a survey of electronic devices that make up the auxiliary safety system, such as controllers, accelerometer-type sensors, gyroscopes, speed meters, as well as sound signaling devices. In the development of the work, the steps of instrumentation of the tractor, data collection, implementation of the security system and validation of results were presented. As a result, proof of system operation was obtained, providing the operator with risk warnings regarding lateral tipping, warning of traction activation on slopes and slopes, warning for the activation of the parking brake and the activated power take-off. The operation of the system proved to be satisfactory, promoting safety warnings to the operator as designed.

Keywords: Accidents, Tractor, Agricultural, Safety

LISTA DE SIGLAS

CG	Centro de Gravidade
CV	Cavalo Vapor
dB	Decibel
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemão para Normatização)
EPC	Estrutura de proteção na capotagem
G	Gravidade
I/O	Inputs / Outputs – Entradas e saídas analógicas ou digitais
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
IHM	Interface Homem-Maquina
LED	Diodo emissor de Luz
N.m	Unidade de Torque
NA	Normalmente Aberto
NBR	Norma Brasileira
NF	Normalmente Fechado
NPN	Junção Negativo/Positivo/Negativo
NR	Norma Regulamentadora
OUT	Saída de sinal
PNP	Junção Positivo/Negativo/Positivo
RPM	Rotações por minuto
SPD	Dispositivos Autoprotetores
SPS	Estrutura Autoprotetora
TDP	Tomada de Potência ou Força
V	Tensão
VCA	Tensão corrente alternada

LISTA DE SÍMBOLOS

m_a	Razão de Torque
m_v	Razão de velocidade
ω_e	Velocidade Angular de Entrada (Rad/s)
ω_s	Velocidade Angular de Saída (Rad/s)
C	Capacidade eletrostática (F)
A	Área das placas (m^2)
d	Distância entre as placas ou eletrodos (m)
ϵ	Permeabilidade dielétrica do material entre as placas (F/m)

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais características Técnicas	21
Quadro 2 - Custos	47

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Trator Agrale 4100.4.....	20
Figura 2 - Exemplo de tomada de potência com a proteção.....	23
Figura 3 - Esquemático do Ângulo Máximo Transversal	24
Figura 4 - Exemplo da aplicação de Cinto e EPC	25
Figura 5 - Exemplo de EPC basculado.....	26
Figura 6 - Exemplo de layout da Placa Arduino UNO.....	28
Figura 7 - Controlador STM32.....	29
Figura 8 - Controlador PIC.....	30
Figura 9 - Sensor de Velocidade por Indução Eletromagnética	33
Figura 10 - Sensor de Velocidade por Efeito Hall Automotivo	34
Figura 11 - Componentes do Sensor de Velocidade Óptico Encoder	35
Figura 12 - Interruptor ou sensor de fim-de-curso	35
Figura 13 - Interruptor ou Sensor Encapsulado com Acionamento Magnético	36
Figura 14 - Funcionamento do sensor óptico	37
Figura 15 - Funcionamento do sensor de proximidade Indutivo.....	38
Figura 16 - Diagrama de blocos do sistema proposto	41
Figura 17 - Arduino Mega.....	44
Figura 18 - Acelerômetro ADXL 335	44
Figura 19 - Encoder HC-020K	45
Figura 20 - Sensor reed encapsulado.....	46
Figura 21 - Diagrama Elétrico.....	48

Figura 22 - Gráfico dos sinais do Acelerômetro	49
Figura 23 – Fluxograma da lógica de Tombamento lateral.....	50
Figura 24 – Fluxograma da lógica da tomada de força acionada e trator em movimento.....	50
Figura 25 – Fluxograma da lógica do trator parado e freio de estacionamento desativado	51
Figura 26 – Fluxograma da lógica do aviso de acionamento do sistema de tração.....	51
Figura 27 – Localização do Arduino	52
Figura 28 – Localização do Acelerômetro	53
Figura 29 – Localização do Encoder	53
Figura 30 – Localização do Sensor de Detecção da Tomada de Força	54
Figura 31 – Localização do Sensor de Detecção Tração Ativada	54
Figura 32 – Localização do Sensor de Detecção do freio de estacionamento.....	55
Figura 33 – Localização do Sensor do do posto do operador.....	55
Figura 34 – Gráfico de inclinação lateral à esquerda	57
Figura 35 – Gráfico de inclinação lateral à direita	58
Figura 36 – Gráfico de inclinação lateral à direita e à esquerda.....	58
Figura 37 – Gráfico de aviso do acionamento da tração em aclave.....	59
Figura 38 – Gráfico de aviso do acionamento da tração em declive.....	60
Figura 39 – Gráfico de uma situação normal de operação	61
Figura 40 – Gráfico de uma situação de esquecimento na operação.....	62
Figura 41 – Gráfico de uma situação de uso da Tomada de Força.....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	JUSTIFICATIVA	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
1.3	ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	TRATOR A SER APLICADO COMO OBJETO DE PESQUISA	21
2.2	PROTEÇÃO EM TRATORES - NR 31.12 E ABNT NBR ISO 4254-1	22
2.2.1	Proteção de eixos (Cardan).....	23
2.2.2	Cinto de Segurança e Estrutura de Proteção na Capotagem – EPC	23
2.3	ELETRÔNICA APLICADA NA SEGURANÇA VEICULAR	26
2.3.1	Componentes para o Sistema de eletrônico de Segurança Ativa.....	27
2.4	CONTROLADORES	27
2.4.1	Arduínos	28
2.4.2	Microcontroladores ST	29
2.4.3	Microcontroladores PIC	29
2.5	ENTRADAS E SAIDAS	30
2.6	SENSORIAMENTO	30
2.6.1	Acelerômetros.....	30
2.6.2	Giroscópios.....	31
2.6.3	Magnetômetro.....	32
2.6.4	Sensores de Rotação e velocidade	33
2.6.5	Sensor de Velocidade Encoder	34
2.6.6	Chaves de Fim de Curso.....	35
2.6.7	Sensores Reed Switch.....	35
2.6.8	Sensores Ópticos	36
2.6.9	Sensores de Proximidade Indutivos.....	37
2.7	ALGORITMOS	38
2.7.1	Linguagem Assembly	38

2.7.2	Linguagem C / C++	38
2.8	SINALIZADORES SONOROS	39
2.8.1	Principais Tipos de Sinalizadores Sonoros.....	39
2.8.2	Efeito Piezoelétrico Aplicado em Sinalizadores Sonoros	40
3	DESENVOLVIMENTO.....	41
3.1	OPERAÇÃO DO SISTEMA	41
3.2	CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO SISTEMA	42
3.2.1	Inclinação Fora dos Limites Programados Durante a Condução	42
3.2.2	Tomada de Força Acionada.....	42
3.2.3	Trator Parado e com Freio de Estacionamento Desativado.....	43
3.2.4	Trator em operação em terrenos de aclave ou declive sem o acionamento da tração...	43
3.3	DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA	43
3.3.1	Controlador.....	43
3.3.2	Sensor Acelerômetro	44
3.3.3	Sensor Encoder	45
3.3.4	Interruptores Reed Magnéticos.....	45
3.3.5	Dispositivos de Saída	46
3.3.6	Desativação do sistema de advertência em nivelamento.....	46
3.4	CUSTOS.....	47
3.5	MONTAGEM DO SISTEMA EM BANCADA.....	47
3.5.1	Algoritmo	49
3.6	MONTAGEM DO SISTEMA NO TRATOR.....	52
3.6.1	Localização dos componentes no trator.....	52
4	RESULTADOS	56
4.1	RESULTADOS RELACIONADOS À INCLINAÇÃO	56
4.1.1	Inclinação Lateral para a Esquerda.....	57
4.1.2	Inclinação Lateral para a Direita	57
4.1.3	Inclinação Lateral para ambos os lados.....	58
4.1.4	Aviso da ativação do sistema 4x4 em aclave	59
4.1.5	Aviso da ativação da tração em Declive.....	59
4.2	AVISOS DE SEGURANÇA INDEPENDENTE DE INCLINAÇÃO.....	60

4.2.1	Aviso de segurança com o Trator Parado.....	60
4.2.2	Tomada de Força Acionada.....	62
5	CONCLUSÃO.....	64
6	TRABALHOS FUTUROS.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Os tratores agrícolas estão cada vez mais presente na agricultura familiar, proporcionando maior produtividade, redução de mão de obra e facilidades diversas no trabalho. Dependendo da geografia e o tipo de cultura praticada nas propriedades rurais determinam o modelo e o porte dos tratores e implementos.

Em regiões de serra nota-se um grande número de tratores de pequeno porte, que realizam trabalhos diversos como transporte por arraste, transporte por apoios, utilizando diversos implementos como pás, arados, roçadeiras, grades, pulverizadores e também na utilização da tomada de força, proporcionando força mecânica para equipamentos como bombas de água, trituradores diversos e outros implementos.

A operação de qualquer trator requer requisitos específicos como treinamento de operação e conhecimento da correta aplicação, tendo em vista as condições adversas como a geografia e as condições do terreno.

Porém, a realidade do dia a dia de trabalho em uma propriedade rural não possui um cenário ideal se comparada à atividade industrial, onde existem diversas regulamentações que devem ser seguidas por lei. Muitas vezes as atividades são repetitivas e padronizadas para os operadores, promovendo treinamento e segurança na atividade. Na agricultura, o agricultor faz todas as funções da propriedade utilizando diversas máquinas e realiza diversas atividades diferentes, além de ter condições climáticas diversas em um ambiente não controlado.

A indústria de tratores agrícolas acompanha a legislação no desenvolvimento dos sistemas de segurança. Contudo os tratores possuem uma longa vida útil e os sistemas de segurança podem ser insuficientes dependendo das condições de operação e podem ser melhorados para proporcionar maior segurança na utilização.

Este trabalho apresenta as normas e legislações atuais com foco em tratores de pequeno porte apontando pontos de melhoria nas condições de segurança na operação. Fazendo o uso da tecnologia, desenvolvendo um dispositivo de auxílio na segurança de condução.

1.1 JUSTIFICATIVA

Geralmente em uma propriedade de agricultura familiar o treinamento para a utilização dos tratores é realizado uma única vez no momento da entrega do produto ao consumidor. Este treinamento raramente é prático e não possui nenhuma atualização para o proprietário. Após a

entrega do produto, o operador não tem contato com as normas e regulamentações atualizadas e os tratores não recebem nenhum tipo de dispositivo de segurança atualizado principalmente para a segurança na operação. Segundo Loeblein (2017) no Brasil 44% dos tratores utilizadas possuem mais de 20 anos.

O número elevado de acidentes fatais em pequenas propriedades rurais é uma evidência da necessidade de implementação de dispositivos auxiliares de segurança que faça um controle sobre as condições diversas de operação, auxiliando na segurança de operação dos tratores. Segundo Márquez (1986), 40% dos acidentes na agricultura envolvem máquinas agrícolas em países europeus e a metade deles envolve o trator. Schlosser et al. (2002) aponta que 51% dos acidentes são por capotamento. Os outros acidentes mais comuns são causados por quedas com o trator em movimento e atropelamentos. Das causas dos acidentes, 33% é por falta de conhecimento, 11% por pressa, 22% por equipamento inadequado e 32% por falta de atenção.

O estudo visa a apresentação dos dispositivos de segurança aplicado em produtos novos, porém com uma análise crítica das soluções atuais em função das reais condições de utilização dos tratores de pequeno porte nas propriedades rurais.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 **Objetivo geral**

Desenvolver um sistema de segurança ativo para advertir o operador quanto a riscos de acidente na operação do trator.

1.2.2 **Objetivos específicos**

Para este trabalho tem por objetivos os seguintes tópicos:

- a) Apresentar e analisar os dispositivos de segurança.
- b) Pesquisar os dispositivos de medição.
- c) Criar o protótipo do sistema auxiliar de segurança em bancada, advertindo o operador quanto à riscos de tombamento lateral, aviso de acionamento da tração, aviso do acionamento da tomada de força e do acionamento do freio de estacionamento.

- d) Validar a operação do sistema.
- e) Instalar os sistemas no trator.
- f) Coletar e validar os resultados obtidos.

1.3 ABORDAGEM E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho é aplicado em um trator modelo Agrale 4100.4 ano 2014, conforme a figura 1. O sistema auxiliar de segurança não irá atuar sobre a dirigibilidade do trator, irá advertir o operador quanto a operação incorreta durante a condução.

Figura 1 - Trator Agrale 4100.4



Fonte: Engemac (2013)

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Oliveira e Pereira (2010), a mecanização aumenta a produtividade e a áreas de produção, aumentando a perspectiva de lucro e a manutenção do pequeno produtor na atividade rural. Os tratores de pequeno porte estão presentes na maioria das propriedades rurais da serra gaúcha.

2.1 TRATOR A SER APLICADO COMO OBJETO DE PESQUISA

Conforme orientações do fabricante Agrale S.A. (2013) os tratores Agrale 4100.4 são equipados com tomada de potência, barra de tração, sistema hidráulico completo de três pontos, o que permite a utilização dos mais diversos implementos de tração e levante como reboques, arados, roçadeiras, rotativas, pulverizadores, aplicação estacionária e entre outros equipamentos. O quadro 1 apresenta as principais características técnicas do trator 4100.4.

Quadro 1 - Principais características Técnicas

Características	Dados
Potência (NBR ISO 1585)	108.11 kW a 2750 rpm
Torque (NBR ISO 1585)	4 kgf.m a 2350 rpm
Capacidade de peso do levante hidráulico	440 kg
Peso do trator	1140 kg
Potência na tomada de força	9.70 kW a 2750 rpm
Bitola Eixo dianteiro	910 mm
Bitola Eixo traseiro	Variável de 863 a 972 mm

Fonte: Adaptado do Manual do Proprietário Agrale

A razão de torque ou ganho mecânico ma é recíproca a razão da velocidade angular mv , conforme Norton (2006).

$$ma = \frac{w_e}{w_s} \quad (1)$$

O modelo de trator utilizado no trabalho possui uma relação de 170 voltas no motor para 1 volta completa nas rodas de tração, justificando a grande força de tração se comparado a potência do motor.

A capacidade de tração do trator não é mencionada no manual do proprietário. Desta forma o operador deve avaliar qual é a capacidade de carga de tração, qual é o aclive e declive máximo que o trator pode suportar quando estiver rebocando certa carga. As condições da pista também devem ser avaliadas para uma condução segura.

Tendo como base as variáveis apresentadas, o trator necessita estar equipado de dispositivos de segurança. De acordo com Corrêa et al. (2005), a grande maioria dos tratores hoje em operação no estado de São Paulo não apresenta condições de conforto e segurança para o operador. O trator possui o posto do operador do tipo acavalado¹, que não oferece conforto e segurança adequado.

A NR 31.12 tem como principal objetivo garantir a saúde e a segurança dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente na operação de máquinas e equipamentos no meio rural, por meio da implantação, manutenção e fiscalização de medidas de proteção, a serem cumpridas por empregados e empregadores, de acordo com as responsabilidades atribuídas a cada um na propriedade.

A ABNT NBR ISO 4254-1 especifica os requisitos de segurança e os meios de sua verificação para o projeto e construção de máquinas auto propelidas conduzidas com o operador a bordo, máquinas montadas, semimontadas e tracionadas utilizadas na agricultura a fim de tratar dos riscos que são típicos para a maioria das máquinas. Esta norma também especifica o tipo de informação sobre práticas de trabalho seguras, incluindo informações sobre os riscos residuais a serem fornecidos pelo fabricante.

2.2 PROTEÇÃO EM TRATORES - NR 31.12 E ABNT NBR ISO 4254-1

Segundo a NR 31.12, os equipamentos para proteção contra acidentes que devem estar presentes em tratores agrícolas são as proteções de eixos (cardan), proteção de correias e polias, cinto de segurança, guarda corpo, estrutura de proteção na capotagem - EPC, proteção contra projeção de partículas, sistema de proteção contra queda de materiais, faróis, luzes e sinal sonoro de ré, freio manual, pino pega corrente e travas de segurança. A seguir será aprofundado os principais requisitos de segurança da NR 31.12 abordado no trabalho.

¹ É a disposição do posto do operador do trator, conforme a figura 5.

2.2.1 Proteção de eixos (Cardan)

A proteção do eixo cardan é utilizada para proteger o operador durante a rotação da tomada de força conhecida como TDP, mantendo a capa plástica externa parada durante a rotação do eixo cardan.

A figura 2 apresenta o exemplo da proteção plástica que reveste eixo cardan.

Figura 2 - Exemplo de tomada de potência com a proteção



Fonte: NR 31.12 (2005)

O trator aplicado no trabalho possui a proteção de eixos, porém não possui indicação de tomada de força acionada, possibilitando que o operador não perceba que a mesma está acionada se estiver utilizando protetores auriculares ou até mesmo não perceber devido ao ruído do motor do trator.

2.2.2 Cinto de Segurança e Estrutura de Proteção na Capotagem – EPC

Conforme a NR 31.12, o cinto de segurança se tornou obrigatório a partir de maio de 2008 em todas as máquinas autopropelidas, juntamente com o a Estrutura de Proteção na Capotagem - EPC. Segundo a ABNT NBR ISO 16231-1:2016, a estrutura EPC minimiza a probabilidade de ferimento ao condutor resultante da capotagem acidental.

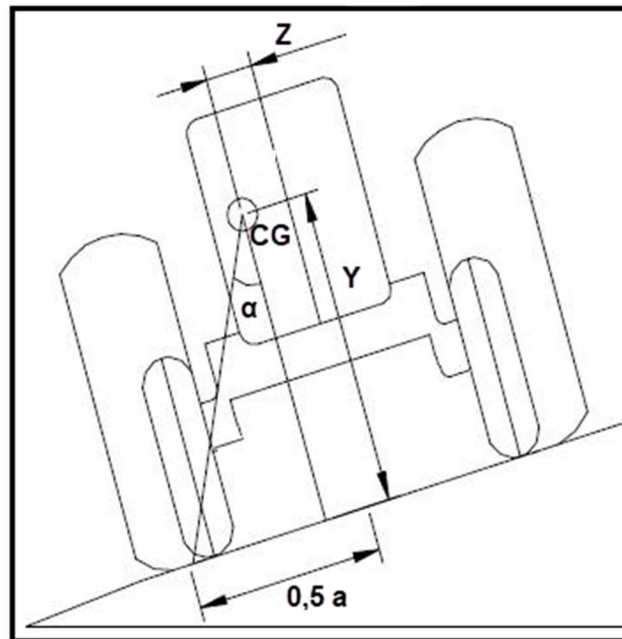
Segundo a norma NBR ISO 5700, a EPC é caracterizada pela manutenção de espaço a uma zona livre, capaz de sustentar o peso do trator em caso de tombamento. O escopo da mesma norma orienta que ela não é aplicada para tratores com uma bitola menor que 1150 mm. O trator aplicado no trabalho possui uma bitola máxima de 972 mm nas rodas traseiras, não se

aplicaria a norma, porém quanto menor a bitola do trator, maior é o risco de capotamento, pois é proporcional ao ângulo máximo de inclinação transversal.

Conforme Lima (1998), o ângulo limite máximo de inclinação transversal é aquele em que o trator está na condição estática, desconsiderando o deslizamento das rodas. Este ângulo pode ser determinado quando uma das rodas deixa de ter contato com a pista, ou seja, quando a força normal de uma das rodas for igual a zero.

Realizando o somatório de forças no eixo Y, é possível obter o ângulo máximo de inclinação transversal em função da bitola do trator e o centro de gravidade (CG), conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 - Esquemático do Ângulo Máximo Transversal



Fonte: Adaptado de LIMA (1998)

$$\alpha = \arctg\left(\frac{(0,5 \times a) - |Z|}{Y}\right), \text{ sendo:}$$

α - Ângulo limite de Capotamento

a - Bitola do trator

$|Z|$ - Distância do CG até o eixo y

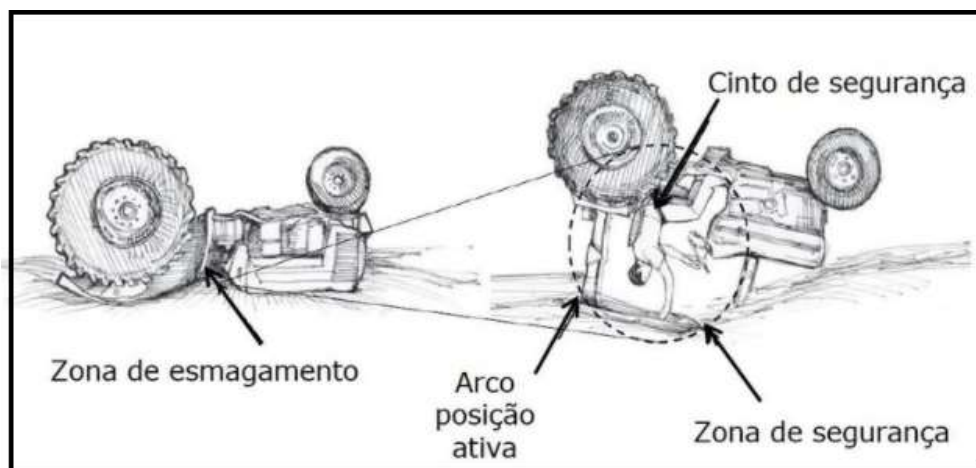
Y - Distância do CG até a pista

A posição do centro de massa do trator foi estimada. Porém é necessário levar em consideração que o centro de massa pode variar durante a operação. Por exemplo se estiver trabalhando com um pulverizador ou rebocando um tanque com água, o volume do líquido pode

sofrer uma agitação conforme o trajeto do trator, causado por irregularidades na pista e provocar a instabilidade do trator.

O EPC e a utilização do cinto de segurança atuam em conjunto na proteção em casos de capotamento, conforme a figura 4.

Figura 4 - Exemplo da aplicação de Cinto e EPC



Fonte: Adaptado de Workers Compensation Board of B. C. (2009)

O trator em questão não possui SPS – estrutura auto protetora, porém possui dispositivos auto protetores – SPD, sendo este o sistema de lastreamento atuando na massa do trator, regulada pelo operador quando convém em função do tipo de utilização.

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 16231-1:2016, estruturas auto protetoras (SPS – *Self-Protective Structure*) são os dispositivos estruturais do trator com resistência suficiente para fornecer um volume-limite de deformação em caso de capotagem, por exemplo o arco de proteção. Os dispositivos auto protetores (SPD- *Self-Protective Devices*) são acessórios ou dispositivos instalados no trator que previne o capotamento ou tombamento por meio da sua massa, forma ou posição, por exemplo o sistema de lastreamento do trator.

Conforme o manual do operador (2013) o lastreamento do trator é regulado através da adição de água (lastro líquido) e por massas de ferro fundido fixadas nas rodas traseiras. O trator também recebe contrapesos instalados na extremidade dianteira (lastro metálico).

O trator 4.110.4 Agrale utilizado no trabalho é equipado da fábrica com o EPC, porém o acessório não é basculável. Para a completa utilização do trator nas propriedades da serra gaúcha, principalmente na atividade frutífera, o dispositivo EPC é removido da estrutura, sendo este de fácil remoção, porém com um peso considerável, o que torna a montagem e a

desmontagem para cada tipo de utilização desfavorável. Outros tratores possuem o EPC basculável conforme o exemplo da figura 5, onde consta o exemplo de um trator da marca Tramontini, em trabalho de pulverização em um sistema de condução de videira latada.

Figura 5 - Exemplo de EPC basculado



Fonte: Revista Cultivar (2014)

2.3 ELETRÔNICA APLICADA NA SEGURANÇA VEICULAR

Acompanhando todas as inovações tecnológicas, a indústria automotiva faz da eletrônica uma ferramenta importante para vários sistemas. Estima-se que mais de 80% de todas as inovações automotivas são oriundas da eletrônica (LEEN, HEFFERNAN, 2001).

A agricultura também faz uso da eletrônica e automação. Tratores de médio e grande porte são equipados com sofisticados sistemas eletrônicos aplicados a quase todos os controles, principalmente no gerenciamento eletrônico do powertrain e do sistema hidráulico.

O trator 4100.4 Agrale não possui nenhum dispositivo eletrônico, possui apenas circuitos básicos para acionamento dos componentes elétricos. Já está presente no trator em função da NR31.12 a sirene de marcha a ré, sendo este um dispositivo de segurança ativa.

Conforme Gioria (2008), sistemas de segurança veiculares são classificados como ativos e passivos. Os sistemas de segurança ativos são aplicados para prevenir os acidentes, por exemplo o sistema de ABS. Já os sistemas de segurança passiva são aplicados para a ativação quando o acidente é inevitável. O mais comum sistema de segurança veicular ativo é o AIRBAG.

2.3.1 Componentes para o Sistema de eletrônico de Segurança Ativa

Os sistemas de segurança ativa do trabalho não atuam sobre a dirigibilidade do trator. O mesmo faz a função de advertir o operador evitando potenciais acidentes. Foram coletadas informações de operação do trator, como o ângulo da dos eixos, acionamento da tomada de potência, situação do freio de estacionamento, se há a presença do motorista e este outros sinais. Para a detecção destes sinais foram utilizados sensores e micro chaves.

Um controlador receberá os sinais dos sensores e faz o processamento das informações e efetuar os acionamentos necessários para advertir o operador. Foram utilizados como dispositivos de advertência sinalizadores sonoros e indicadores ópticos.

O sistema é composto por quatro elementos:

- Controladores: popularmente conhecidos como centrais eletrônicas.
- Sensoriamento: montados em pontos estratégicos da carroceria, são utilizados para a coleta de informações. É o caso de sensores diversos e interruptores;
- Algoritmos: contém a sequência lógica do sistema, fazendo o controle em função a iteração entre os componentes;
- Sinalizadores: são os dispositivos de atuação na advertência ao operador, por exemplo Leds indicadores, dispositivos de aviso sonoro, etc.;

2.4 CONTROLADORES

Os controladores são componentes eletrônicos formados por um processador, memória, periféricos de entradas e saídas, temporizadores, dispositivos e comunicação serial, entre outros. Executam algoritmos com as funções pré-programadas e controlando as entradas e saídas do sistema. Suas funções têm base nas medições recebidas dos sensores. Assim as informações são tratadas e processadas dentro do software que gera os comandos para os atuadores fazerem o sistema funcionar de acordo com a programação. Abaixo são apresentados alguns exemplos de controladores mais utilizados.

2.4.1 Arduínos

Segundo Mcroberts (2011) o Arduino é de um controlador onde é possível realizar uma programação para tratar entradas e saídas coletadas pelos sensores e atuadores ligados a ele. É uma ferramenta de baixo custo, flexíveis e de fácil utilização.

Existem vários modelos de Arduino, cada um com suas características e aplicações.

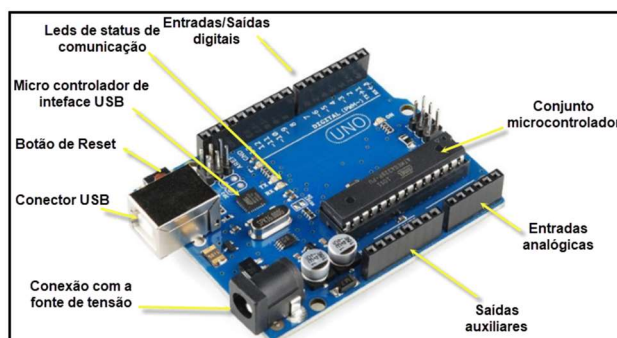
Abaixo estão os arduinos mais utilizados:

- Uno e Leonardo: possuem microcontroladores diferentes. O Arduino Leonardo utiliza o ATmega32u4 e o UNO utiliza ATmega328, operando com 16 MHz;
- Mega: mais versátil pois possui um número maior de entradas e saídas, possui o controlador ATmega 2560, possuindo 14 I/O;
- Lilypad: o mais compacto, utiliza controladores ATmega32u4 e ATmega328;
- Due: possui maior capacidade de processamento, com o processador ARM de 32 bits e 512 Kb de memória, operando com até 84 Mhz.

Conforme Severo (2012) A IDE do arduino foi desenvolvida para ser um ambiente onde não é necessário ter amplos conhecimentos de programação de computadores. O editor de código é incluso e possui recursos que facilitam a compreensão das funções. Segundo o site do fabricante, a linguagem de programação utilizada é *wiring*, por essa razão é possível criar diversas operações de entradas e saídas.

A placa do arduino UNO é composta basicamente por fonte, controlador, linhas de entrada e saída analógicas ou digitais e conexão USB, conforme a figura 6. Outra importante característica é que a placa pode ser expansiva, possibilitando a conexão de outros dispositivos auxiliares.

Figura 6 - Exemplo de layout da Placa Arduino UNO



Fonte: Embarcados (2012)

2.4.2 Microcontroladores ST

A linha STM é a família de microcontroladores de 8 e 32 bits. Aplicado a diversos sistemas, como medidores de energia, pontos de venda, segurança e automação industrial, medidores médicos portáteis de uso pessoal, home áudio e outros.

O Controlador STM8 possui capacidade de memória Flash de 32Kb, memória eeprom de 128b e frequência de 16 MHz. O STM32 possui capacidade de memória Flash de 64Kb, memória eeprom de 20Kb e frequência de 72MHz. A figura 7 apresenta o controlador STM32 (ST.COM, 2020).

Figura 7 - Controlador STM32



Fonte: st.com (2019)

2.4.3 Microcontroladores PIC

De acordo com o manual do fabricante (2020), são alguns dos microcontroladores mais utilizados. Entre os modelos se destaca o microcontrolador PIC 16F877A, onde este operam com frequências de 20 MHz, com memória RAM de 368 Bytes e memória EEPROM de até 368 bytes. Ele não é o mais indicado para nível de protótipo pois é comercializado sem a placa, sendo necessário dispor de outros periféricos para a sua utilização, como por exemplo o gravador.

Os microcontroladores Pic18f4550 e Pic 18f4550 possuem placa com a estrutura para a programação semelhante a família ST e Arduino. Comunicação USB 2.0 nativa, 32Kb de Flash, 256 bytes EEPROM e 2048 bytes de RAM, com 33 pinos de I/O disponíveis. A figura 8 apresenta o micro controlador PIC 16F8.

Figura 8 - Controlador PIC



Fonte: microchip.com (2012)

2.5 ENTRADAS E SAIDAS

De acordo com Oliveira (2004), a IHM - interface home máquina de uma aplicação consiste em uma tela ou outros periféricos de entrada, que facilita e torna mais eficiente a comunicação entre pessoas e máquinas. As entradas e saídas dos microcontroladores podem ser analógicas ou digitais, onde as analógicas possuem resolução de 8 bits, 10 bits, 12, bits e 16 bits sendo calculada pela equação 2 e as digitais podem assumir valor zero ou um.

$Resolução = \frac{V_{ref}}{2^n}$, onde:

(2)

V_{ref} : tensão de referência do conversor A/D;

n: número de bits do conversor.

2.6 SENSORIAMENTO

Os sensores são dispositivos que tem a função de detectar grandezas físicas e convertê-las em sinais elétricos de modo que possam ser convertidos e interpretados por outros dispositivos.

2.6.1 Acelerômetros

De acordo com Godfrey et al. (2008), os acelerômetros são dispositivos que medem a vibração ou a aceleração do movimento de uma estrutura. São aplicados para medir inclinações,

vibrações, velocidades, deslocamentos e forças. Amplamente utilizado na eletrônica automotiva como sensor de ângulo dos eixos do trator.

Existem diversos tipos de acelerômetros, entre eles os do tipo transdutor capacitivo. O Sensor opera por meio de uma capacitância de um capacitor formado de duas placas paralelas de material semiconductor. Entre estas duas placas há um material dielétrico flexível. De acordo com a força da gravidade, ocorre a deformação do material flexível, e por consequência ocorre a variação da distância entre as duas placas de material semiconductor. A flexibilidade corresponde a capacitância (SILVA, 2008).

A capacidade eletrostática pode ser determinada através da equação 3:

$$C = \epsilon \left(\frac{A}{D} \right) \quad (3)$$

onde:

C é a capacidade eletrostática;

A é área das placas;

D é a distância entre as placas ou eletrodos;

ϵ é a permeabilidade dielétrica do material entre as placas.

O acelerômetro tem a função de gerar valores de acordo com o ângulo de inclinação da dos eixos do trator, e converter estes valores em um sinal analógico de tensão. Os valores são lidos em tempo real pelo controlador. Com estes valores captados é possível desenvolver inúmeras lógicas de acordo com a necessidade da aplicação.

2.6.2 Giroscópios

O sensor giroscópio mede a velocidade angular em torno de um eixo de referência. A velocidade angular é uma grandeza que representa a taxa de variação da posição angular no tempo, cuja unidade de medida no Sistema Internacional é o rad/s (radiano por segundo).

São sensores inerciais de alta precisão que atendem a uma ampla variedade de aplicações industriais. Opera por meio de uma tecnologia conhecida como *Micro Electro-Mechanical System*, que é composta por uma massa suspensa entre um par de placas capacitivas. Quando a inclinação é aplicada ao sensor, a massa suspensa cria uma diferença no potencial elétrico que é medida como uma mudança na capacitância. Estes sensores são

aplicados onde não se exige a mais alta precisão, como automação industrial, nivelamento de plataforma, controle de posição e medição de inclinação e rotação.

Operam a faixa de temperatura de -40° a $+85^{\circ}$ C, eles suportam algumas condições intensas. Embora os sensores eletrolíticos tenham uma precisão muito maior, alguns deles podem ser sensíveis à temperatura (MEMS MOTION SENSOR, 2010).

2.6.3 Magnetômetro

É aplicado para medir campos magnéticos. Com a fonte de alimentação aplicada, o sensor converte qualquer campo magnético incidente no eixo sensível para uma saída de tensão diferencial. Os sensores magneto-resistivos são feitos de uma película fina de níquel-ferro e padronizado como um elemento de faixa resistiva. Utiliza o princípio de que a resistência elétrica em uma liga ferromagnética de película fina é alterada por meio de um campo magnético externo (HONEYWELL, 2013).

Quando um objeto com seu próprio campo magnético se aproxima do sensor, a sua resistência elétrica muda. Isso torna possível detectar em que ângulo o campo magnético externo está posicionado em relação ao sensor. A magnetização do campo também permite determinar a distância.

A resistência depende do ângulo entre a direção da corrente e a magnetização que pode ser influenciada por um campo magnético externo. A resistência é menor em um ângulo de 90 graus e maior quando a corrente flui em paralelo. As medições são particularmente precisas, mesmo em condições difíceis. Esses sensores são, portanto, usados principalmente em condições extremas.

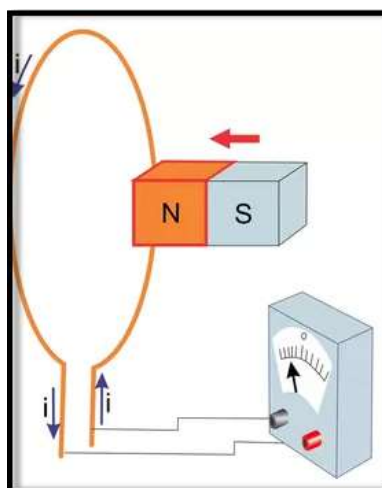
Na presença de um campo magnético, uma mudança nos elementos resistivos da ponte causa uma mudança correspondente na tensão na saída. Esses elementos resistivos são alinhados juntos para ter um eixo sensível comum que fornecerá mudança de tensão positiva com campos magnéticos aumentando na direção sensível. A saída é proporcional a componente do campo magnético ao longo de seu eixo, pontes de sensores adicionais são colocadas em direções ortogonais para permitir a medição precisa do campo magnético em qualquer orientação.

2.6.4 Sensores de Rotação e velocidade

Os sensores de velocidade e rotação tem a função de identificar movimento nos sistemas. A partir das leituras de movimento convertida para sinais elétricos, é possível determinar a velocidade do dispositivo a ser medido. Os sensores de velocidade mais comuns aplicados em projetos automotivos são do tipo indutivos ou sensores de efeito Hall.

Os sensores de velocidade ou rotação do tipo indutivos funcionam através da indução eletromagnética segundo Faraday. De acordo com Zemansky e Freedman, (2005), um ímã em movimento induz uma corrente elétrica sobre uma bobina. Um típico sensor de rotação indutivo possui um ímã permanente em seu interior. Ao se aproximar de um material ferromagnético, ocorre uma instabilidade no campo magnético do sensor. Esta instabilidade provoca a indução na bobina do sensor, que gera uma tensão alternada. A figura 9 ilustra as posições dos componentes do sensor indutivo e o sinal gerada pelo sistema. Observa-se que este sensor não necessita de alimentação externa.

Figura 9 - Sensor de Velocidade por Indução Eletromagnética

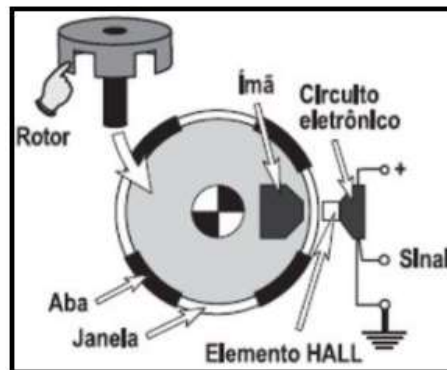


Fonte: Globo (2011)

Descoberto por Edwin H. Hall no final do século XIX, os sensores de efeito Hall são de uso comum em sistemas automotivos para a coleta de dados de rotação. É definido por produzir uma diferença de potencial através de um condutor elétrico (TIPLER, 2009). Ele é composto por um elemento sensor, que consiste em um componente eletrônico, necessitando de alimentação externa, um ímã permanente e uma polia descontinuada. Enquanto estiver uma obstrução entre o sensor e o ímã permanente, o sinal de saída do sensor será próximo de zero,

chamado sinal baixo. Ao contrário, se não houver barreiras entre o ímã permanente e o sensor o sinal de saída será alto, este determinado pelo fabricante do sensor. A figura 10 representa o funcionamento do sensor velocidade por efeito Hall.

Figura 10 - Sensor de Velocidade por Efeito Hall Automotivo



Fonte: MTE-THOMPSON (2018)

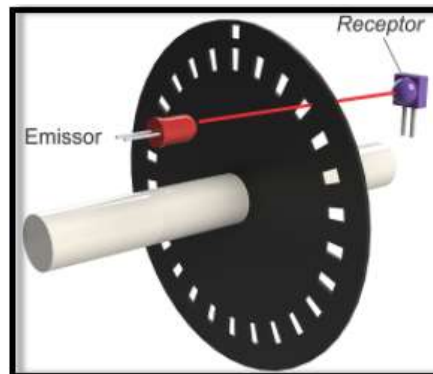
2.6.5 Sensor de Velocidade Encoder

O sensor óptico Encoder opera através da interrupção da fonte de luz. A luz proveniente do sensor é gerada por um diodo emissor de luz, conhecido popularmente como LED. O LED funciona pelo princípio da transformação da energia elétrica em radiação, onde pode ser possível visualizar o seu espectro da luz ou somente emitir luz infravermelha.

Para detecção de um sinal em movimento circular uma polia com interrupções passa através da fonte de luz. Essas interrupções interrompem o feixe de luz, fazendo com que a luz não seja emitida sobre o receptor. Durante cada interrupção é gerado o sinal de tensão digital, que é recebido pelo controlador. Com a utilização de encoders, é possível quantificar distâncias, controlar velocidades, medir ângulos, número de rotações, realizar posicionamentos, entre outras funções.

A resolução do encoder se dá em função de marcações presentes no disco do dispositivo, que equivale a quantidade de ondas quadradas gerado em uma volta do encoder. A figura 11 apresenta o funcionamento do sensor óptico.

Figura 11 - Componentes do Sensor de Velocidade Óptico Encoder



Fonte: Hitecnologia (2017)

2.6.6 Chaves de Fim de Curso

Conforme Thomazini (2005) são aplicados onde é necessário detectar os movimentos, posições ou presença usando recursos mecânicos. São dispositivos que atuam no circuito de modo ligar e deligar quando uma ação mecânica acontece diretamente no elemento atuador. Normalmente são aplicados para detectar posições de partes mecânicas de máquinas. A figura 12 apresenta um típico sensor de fim-de-curso (THOMAZINI, 2005).

Figura 12 - Interruptor ou sensor de fim-de-curso



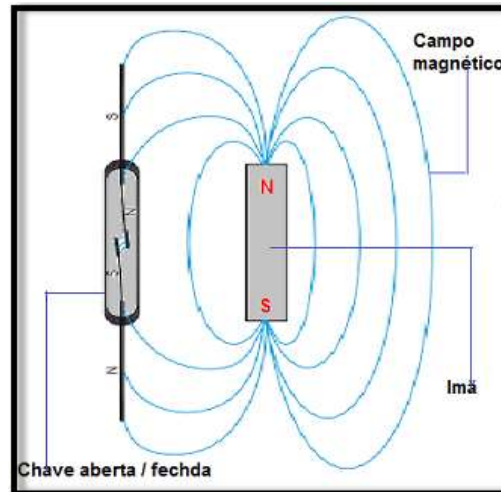
Fonte: blogmasterwalkershop (2019)

2.6.7 Sensores Reed Switch

São sensores mecânicos do tipo chave que atuam sob a ação de um campo magnético. A microchave está encapsulada dentro de um bulbo de vidro contendo um gás inerte. Ao entrar em contato com um campo magnético, os contatos do bulbo se fecham (NA) ou se abrem (NF) (THOMAZINI, 2005).

A figura 13 apresenta um exemplo de sensor Reed Switch popularmente conhecido com Ampola.

Figura 13 - Interruptor ou Sensor Encapsulado com Acionamento Magnético



Fonte: Portal Eletricista (2013)

2.6.8 Sensores Ópticos

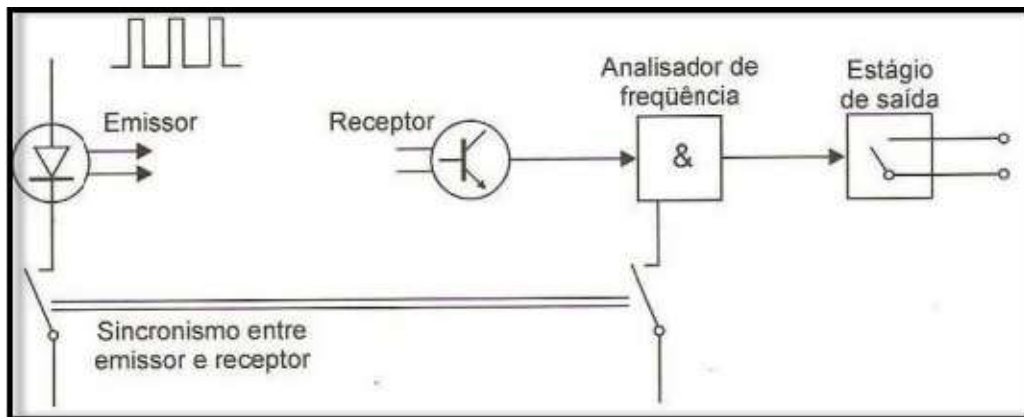
São sensores que detectam a presença de qualquer material sem que haja contato mecânico entre eles (THOMAZINI, ALBUQUERQUE, 2005). Podem ser divididos em dois tipos, os infravermelhos ativos e os passivos. Um sensor óptico é ativo quando este possui um emissor por onde é emitida uma onda infravermelha e por um receptor que detecta esta onda. Sua utilização é recomendada tanto para ambientes internos como para ambiente externos, pois opera em distâncias consideráveis.

Os sensores são ditos passivos quando estes possuem apenas receptores, ou seja, eles não emitem ondas infravermelhas, apenas detectam a movimentação destas nas suas áreas de atuação. Ao se detectar um sinal infravermelho, este geralmente é transformado numa variação de tensão ou de corrente e é interpretado por um circuito eletrônico. Seu uso é recomendável principalmente em ambientes fechados pois a faixa de operação é menor em relação aos sensores ativos.

Dentro dos infravermelhos ativos, existem aqueles que funcionam no sistema por barreira. O princípio de consiste em uma barreira interrompe o sinal do emissor, assim atuando como um sensor de detecção de movimento. O sinal de luz enviado pelo emissor é modulado em uma frequência. O emissor possui um filtro que somente considera sinais com a mesma

frequência. Desta forma evita com que o sistema possa sofrer interferências causadas por outras fontes de luz infravermelhas. A figura 14 apresenta o esquemático de funcionamento do sensor óptico.

Figura 14 - Funcionamento do sensor óptico



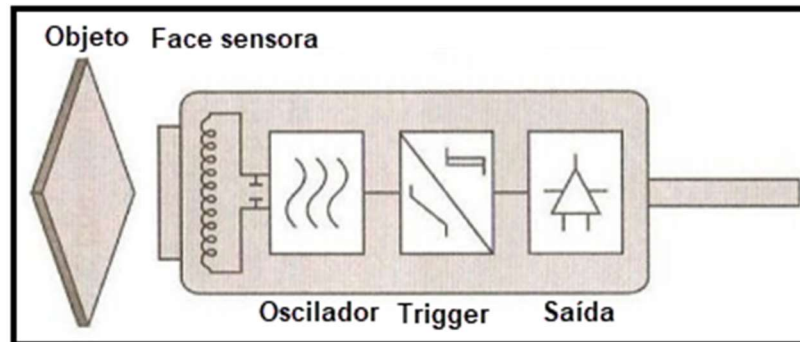
Fonte: Thomazini, Albuquerque (2005)

2.6.9 Sensores de Proximidade Indutivos

São sensores de proximidade que utilizam um campo de frequência com um oscilador e uma bobina. A presença de um objeto altera o campo e o circuito eletrônico do sensor detecta a alteração. A bobina é alimentada por um circuito oscilador e gera um campo eletromagnético. Ao aproximar um objeto metálico é induzido uma corrente elétrica provocando perdas resultantes retirando energia do circuito oscilador, assim detectando a presença do objeto (THOMAZINI, ALBUQUERQUE, 2005).

A distância entre o sensor e o objeto é crítica para o funcionamento do sensor, porém eles possuem as vantagens de serem vedados (podem trabalhar em ambientes diversos) e não operam com peças móveis ou contatos. A Figura 15 apresenta o esquemático do sensor de proximidade indutivo.

Figura 15 - Funcionamento do sensor de proximidade Indutivo



Fonte: Adaptado de Thomazini, Albuquerque (2005)

2.7 ALGORITMOS

Os algoritmos consistem em uma sequência de passos que visam atingir um objetivo bem definido (FORBELLONE, 2000). As linguagens de programação são padrões de codificação binária, com sintaxe e semânticas específicas. Desta forma pode-se criar instruções para máquinas. Abaixo constam opções de linguagens para construir algoritmos para serem executados em microcontroladores.

2.7.1 Linguagem Assembly

Assembly é uma linguagem de baixo nível, chamada frequentemente de linguagem de montagem. Foi muito utilizada até meados dos anos 80, sendo substituída por linguagens de alto nível devido a necessidade de velocidade nos desenvolvimentos de novas aplicações. Para a programação em Assembly são necessários sólidos conhecimentos de Hardware para sua utilização, pois é atrelada à arquitetura de uma certa CPU, ou seja, ela depende completamente do hardware (MANZANO, 2004). Atualmente Assembly é usada para manipulação direta de hardware e para sistemas que necessitem de performance crítica.

2.7.2 Linguagem C / C++

Foi criada pelo cientista da computação Dennis Ritchie em 1972, a linguagem C é derivada das antigas ALGOL 68 e BCPL. Ela surgiu da necessidade de escrever programas de maneira mais fácil. Possui vantagens por ser estruturada e simples, pois conta com um conjunto de bibliotecas de funções e sub-rotinas que auxiliam no desenvolvimento de sistemas (PAES,

2016). Possui diversos compiladores² disponíveis e está presente em muitos IDEs³. A linguagem C++ é derivada do C, onde foram inseridas melhorias principalmente relacionadas a programação orientada a objetos.

2.8 SINALIZADORES SONOROS

Os dispositivos de sinalização sonora ou sirenes são geradores de tons que emitem um sinal de áudio quando uma tensão é aplicada nos terminais de entrada.

De acordo com Bistafa (2011), a Difusão sonora ocorre quando o som ao encontrar uma superfície é refletido e redirecionado para um melhor espalhamento sonoro no ambiente. Nos espaços abertos, as ondas sonoras propagam-se sem encontrar nenhum obstáculo, conseqüentemente, a recepção sonora corresponde sempre a ondas diretas da fonte.

A percepção dos dispositivos de sinalização acústica é determinada por vários fatores, entre eles ruído ambiental e o possível uso de proteção auditiva, devem ser levados em conta. A percepção adequada do sinal acústico não depende apenas do controle da emissão sonora, sendo o local de instalação da sirene é fundamental para a propagação som.

2.8.1 Principais Tipos de Sinalizadores Sonoros

As sirenes piezoelétricas são compostas por transdutores piezoelétricos que convertem o sinal elétrico em sinal sonoro. Essas sirenes geram frequências que são sensíveis ao ouvido humano (de 75 a 95 dB) e provocam pouco deslocamento de ar.

As sirenes magnéticas são compostas por bobina, cone e ímã permanente. Um Circuito eletrônico gera uma tensão alternada, provocando o surgimento de um campo magnético da bobina que está presa ao cone. O ímã permanente tem a função de atrair e repelir a bobina. Assim ocorre o deslocamento do cone, que desloca o ar, originando o som.

² Traduz comandos das linguagens de programação e armazena a tradução na memória do computador na forma de um conjunto de instruções na linguagem de máquina, e só depois executa todas essas instruções, gerando-se assim, um arquivo executável.

³ Ambiente de desenvolvimento integrado, é um software que combina ferramentas comuns de desenvolvimento em uma única interface gráfica do usuário, facilitando o desenvolvimento de aplicações.

2.8.2 Efeito Piezoelétrico Aplicado em Sinalizadores Sonoros

Conforme Tichý et. al. (2010) a Piezoelectricidade é uma interação linear entre sistemas mecânicos e elétricos em cristais sem centro de simetria. Um material é dito piezoelétrico quando ao se aplicar uma força externa, obtém-se uma polarização elétrica interna relacionada a simetria do material, transformando energia mecânica em elétrica ou vice-versa. A Piezoelectricidade é uma constante que própria de cada material. Os principais materiais piezoelétricos são o quartzo e turmalina.

Desta forma é possível fazer o processo inverso. Ao aplicar uma tensão externa ao componente piezoelétrico, o material se deforma, provocando um distúrbio de ar, e conseqüentemente uma onda sonora.

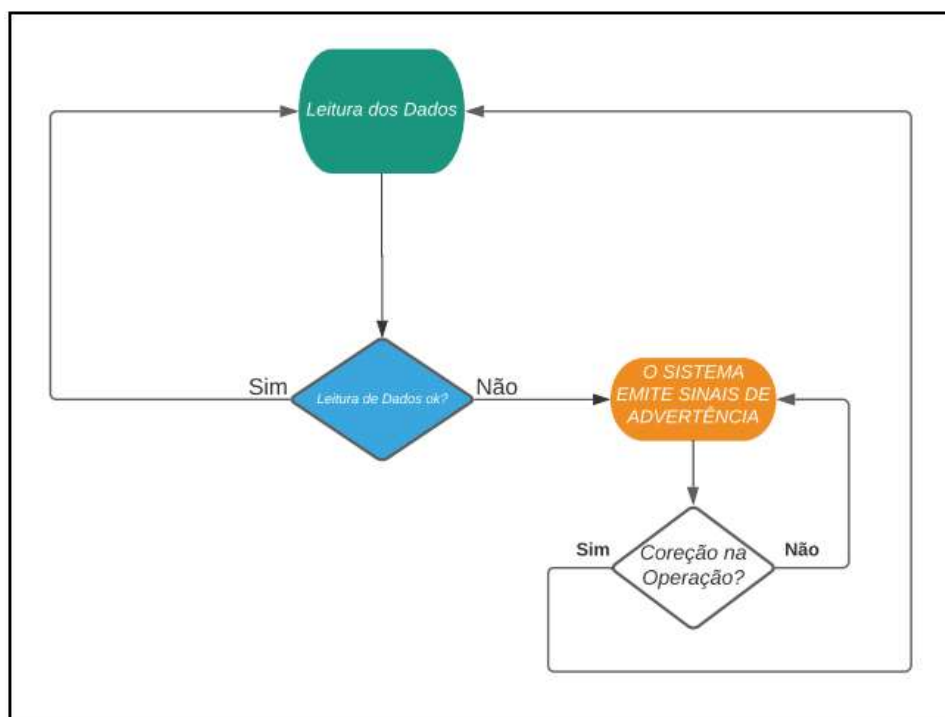
3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento do sistema de advertência na operação do trator em todas as etapas, como a metodologia e a arquitetura utilizada, os métodos, a leitura a avaliação dos resultados obtidos.

3.1 OPERAÇÃO DO SISTEMA

O Diagrama de blocos da figura 16 auxilia no entendimento da operação do sistema. O diagrama pode ser entendido como um modelo funcional construído a partir de especificações preliminares para simular a funcionalidade do sistema.

Figura 16 - Diagrama de blocos do sistema proposto



Fonte: O Autor (2020)

Conforme o diagrama de blocos o sistema é composto pelas seguintes etapas:

- Leitura dos dados: O sistema é ativado no momento da partida do trator. Após a ativação o sistema realiza as leituras de dados continuamente.
- Comparação dos dados: O sistema compara os dados recebidos com os dados programados. Uma vez detectado dados que comprometam a segurança de

operação do trator o sistema fará a atuação de alerta ao operador do trator. Se os dados lidos estiverem de acordo com o programado para a condução em segurança, o sistema permanece em monitoramento contínuo.

3.2 CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO SISTEMA

Através dos dados obtidos da leitura das inclinações dos eixos, de deslocamento do trator e dos interruptores que detectam as posições das alavancas e do posto do operador é possível monitorar e comparar os dados para que a partir da lógica programada o sistema emita sinais de advertência para auxiliar na tomada de decisão do operador.

A seguir são apresentadas as situações previstas no escopo inicial do sistema.

3.2.1 **Inclinação Fora dos Limites Programados Durante a Condução**

Em uma situação de trabalho o trator pode ser conduzido em uma pista com inclinação lateral acentuada e também em um aclive acentuado. Nessas condições podem ocorrer acidentes como o tombamento lateral, a perda de dirigibilidade em função do empinamento – perda de contato das rodas dianteiras com o solo e entre outras situações. Neste caso o sistema emite um sinal sonoro e visual no painel do lado onde há risco de tombamento até o operador tome a decisão de correção das condições de operação do trator.

3.2.2 **Tomada de Força Acionada**

Em uma situação de trabalho o trator pode ser conduzido com a tomada de força acionada, como por exemplo na utilização de um implemento do tipo roçadeira e um pulverizador.

Nessa condição pode ocorrer acidentes durante a aproximação de outras pessoas no trator, sem o operador perceber que está com a tomada de força acionada, tendo o risco de salto de detritos e pedras. Uma aproximação do eixo cardan da tomada de força também é um risco, podendo este estar sem a proteção citada no capítulo 2.

No caso do trabalho estacionário, o sistema atuará alertando com um sinalizador visual que a tomada de força está acionada. O trator deverá estar com o freio de estacionamento acionado, caso contrário o sistema emitirá um aviso sonoro até que o mesmo seja ativado.

3.2.3 Trator Parado e com Freio de Estacionamento Desativado

Em uma situação de trabalho o operador pode esquecer de acionar o freio de estacionamento do trator durante situações como carga e descarga, engates de implementos e outras situações diversas. Desta forma o trator se encontra parado e sem o operador. Uma pequena força externa pode causar um movimento no trator, que devido a sua inércia pode causar um atropelamento, esmagamento e movimentos descontrolados.

Neste caso o sistema emitirá um sinal sonoro alertando o operador até que o freio de estacionamento seja ativado.

3.2.4 Trator em operação em terrenos de aclive ou declive sem o acionamento da tração

Em condução em aclives e declives em terrenos com baixo coeficiente de atrito é fundamental que a tração do trator esteja ativada evitando o deslizamento das rodas.

Neste caso, o sistema detecta a situação de aclive e declive, e alerta o operador com o indicador sonoro se a tração estiver desativada.

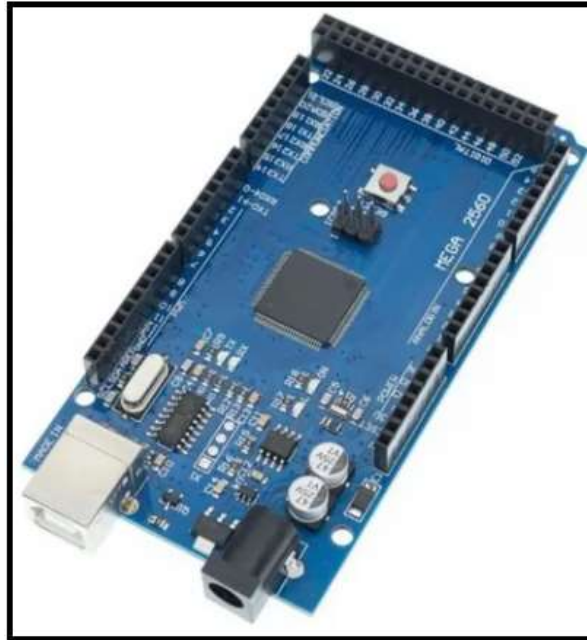
3.3 DEFINIÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Com a definição das condições de funcionamento determinadas, é possível definir os componentes a serem utilizados no sistema. Antes da instalação dos componentes no trator, optou-se por montar o dispositivo em bancada com o objetivo de avaliar as leituras e verificar as particularidades de cada componente.

3.3.1 Controlador

O controlador utilizado é Arduino Mega apresentado na figura 17, pois pode ser utilizado tanto em bancada quanto no trator, tendo interface e alimentação direta via cabo USB. Também acompanha uma IDE amigável para a criação do algoritmo e com vasta literatura técnica disponível.

Figura 17 - Arduino Mega

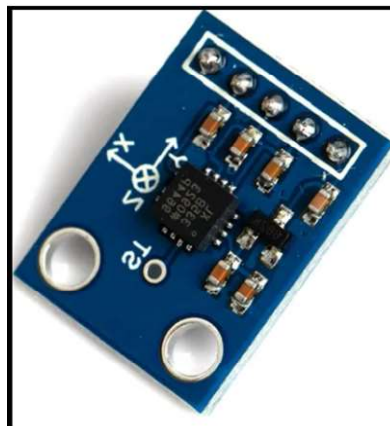


Fonte: Embarcados (2012)

3.3.2 Sensor Acelerômetro

O Acelerômetro ADXL 335 está aplicado no sistema para detectar a inclinação do trator (Roll) e empinamento (Pitch). O componente fornece as informações necessárias para identificar o comportamento do trator de forma satisfatória além de ser de fácil instalação no trator. O valor e a disponibilidade da peça também foram levados em consideração para a escolha.

Figura 18 - Acelerômetro ADXL 335



Fonte: Autor (2021)

3.3.3 Sensor Encoder

O sensor encoder aplicado no sistema é o modelo HC-020K apresentado na figura 19. De fácil adaptação nas rodas traseiras e com baixo custo, ele informa ao controlador se o trator está em movimento ou parado. Observa-se que este modelo foi aplicado a nível de protótipo, não sendo o ideal para ser aplicado do sistema como um produto. A solução ideal para realizar a leitura do deslocamento ou velocidade é a aplicação de um sensor indutivo encapsulado com roda fônica.

Figura 19 - Encoder HC-020K



Fonte: Autor (2021)

3.3.4 Interruptores Reed Magnéticos

Para a detecção do estado das alavancas do sistema 4x4, do freio de estacionamento, do acionamento da tomada de força e para a detecção do condutor no posto de operação do trator utiliza-se sensores magnéticos encapsulados conforme a figura 20. De fácil adaptação e baixo custo, coleta os dados do estado das alavancas de forma satisfatória a nível de protótipo. Para uma melhor robustez, pode-se utilizar sensores que captam a variação do campo magnético, assim estaria livre de problemas de leitura relacionado a sujeira e entre outros fatores.

Figura 20 - Sensor reed encapsulado



Fonte: Autor (2021)

3.3.5 Dispositivos de Saída

Os dispositivos de saída utilizados no sistema são visuais e sonoros. Aplicam-se sinalizadores luminosos no painel do trator combinado com um sinalizador sonoro informando as condições de risco de acidentes ou das situações de operação do trator apresentadas no item 3.2.

A escolha dos dispositivos de saída foi fundamentada pela durabilidade dos componentes, simplicidade em transmitir a informação e com baixa intervenção na adaptação do sistema no trator, desta forma obtendo um resultado satisfatório com baixo custo de peças. O sinalizador sonoro do sistema de advertência compartilha o mesmo dispositivo original de aviso de Marcha a ré do trator.

3.3.6 Desativação do sistema de advertência em nivelamento

Optou-se por ter um botão onde o condutor tem a disponibilidade de desativar a condição de advertência de nivelamento apresentada em 3.2.1 devido às condições diversas de operação do trator. O sistema passa a operar com todas as funções ao ligar o motor.

3.4 CUSTOS

O quadro 4 apresenta os custos aproximados para implementação do projeto. Ressaltando que os componentes foram adquiridos ao longo do desenvolvimento do trabalho, entre dezembro e março de 2021 e podem sofrer alterações.

Itens utilizados para a confecção dos suportes e materiais de suprimentos, além das horas trabalhadas não foram relacionadas no quadro de custos.

Quadro 2 - Custos

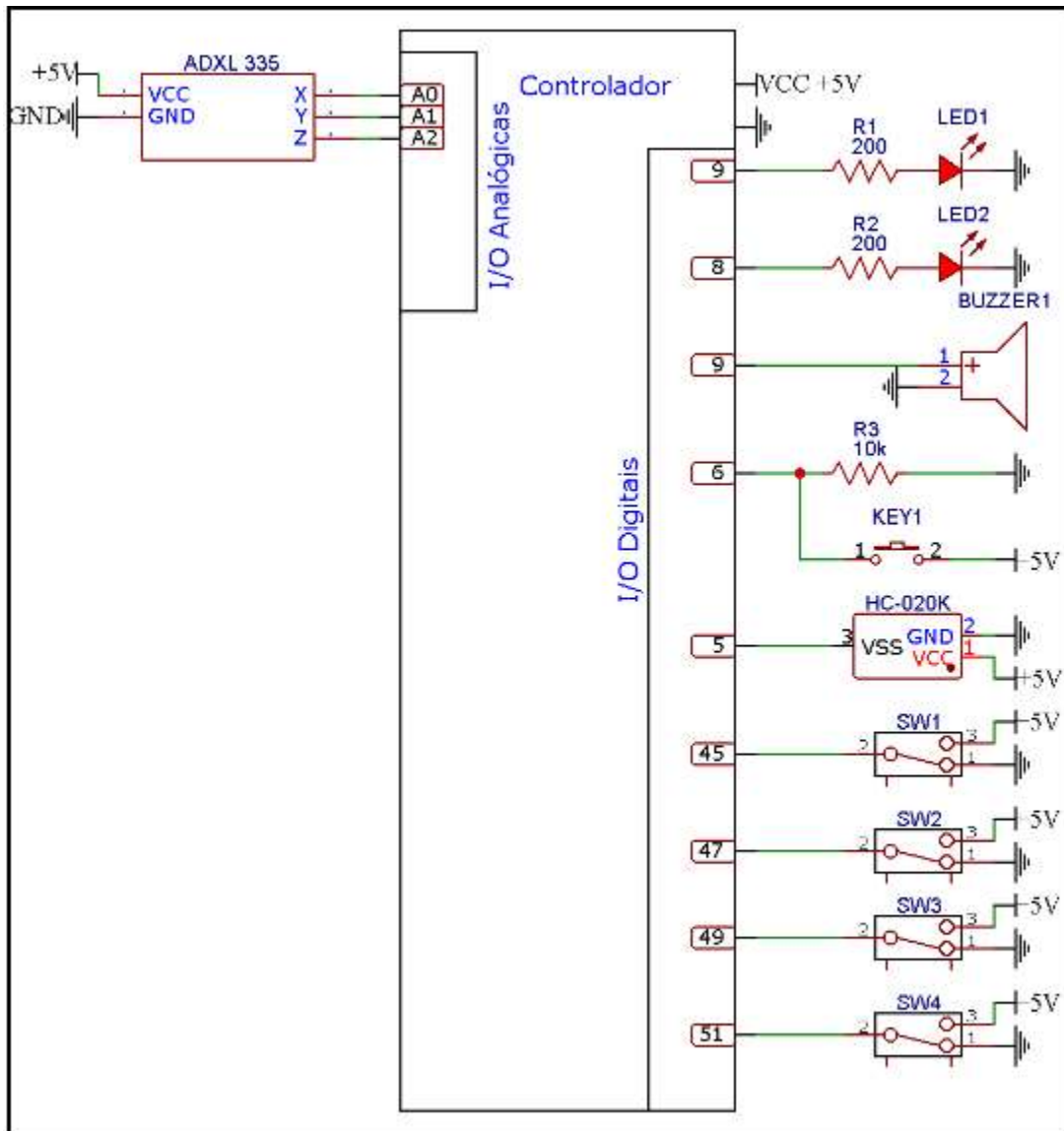
CUSTOS				
Item	Componente	Preço	Quantidade	Final
1	Arduino Mega	R\$80,00	1	R\$80,00
2	Acelerômetro ADXL335	R\$30,00	1	R\$30,00
3	Encoder HC-020K	R\$25,00	1	R\$25,00
4	Reed Switch	R\$8,00	4	R\$32,00
5	Botão	R\$2,00	1	R\$2,00
6	Indicador visual	R\$3,00	2	R\$6,00
7	Relé	R\$15,00	1	R\$15,00
8	Fonte	R\$20,00	1	R\$20,00
9	Cablagem	R\$20,00	1	R\$20,00
10	Mão de obra	R\$40,00	20	R\$800,00
Total				R\$1030,00

Fonte: O autor (2021)

3.5 MONTAGEM DO SISTEMA EM BANCADA

O sistema foi montado em bancada com o auxílio de um *protoboard*. Nesta etapa foi definida a arquitetura do sistema, as portas a serem utilizadas no arduino e os tipos de sinais coletados. Para a organização do projeto foi desenhado o diagrama elétrico do sistema, apresentado na figura 21.

Figura 21 - Diagrama Elétrico

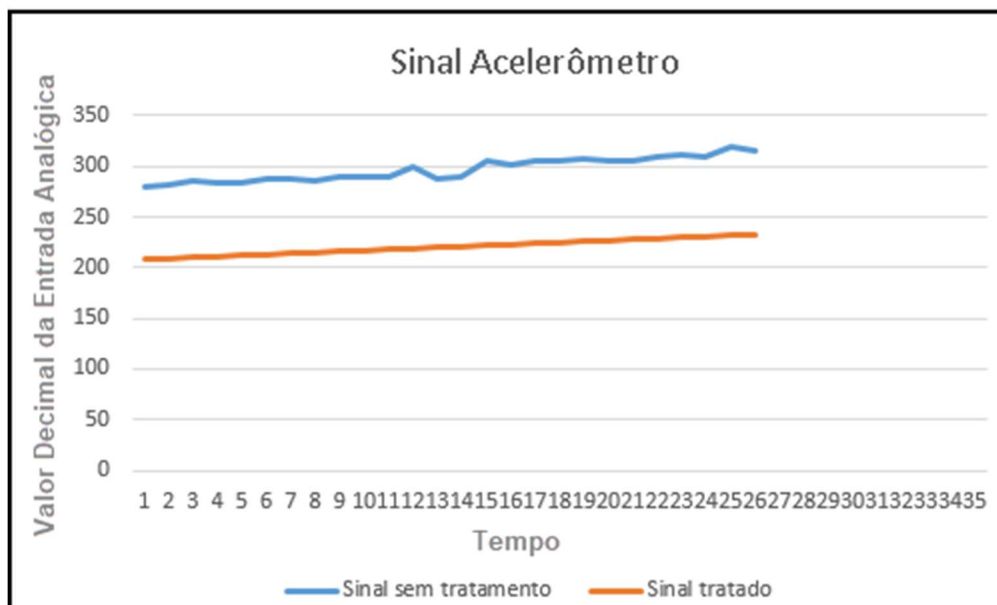


Fonte: Autor (2021)

O sensor acelerômetro emite sinais analógicos, desta forma foram utilizadas três portas analógicas do arduino.

Em bancada foram obtidas leituras de valores de pico do acelerômetro devido à vibração. Prevendo a piora da situação de vibração no trator foi necessário fazer o tratamento prévio dos dados a serem utilizados nas condições de comparação. Ciente de outras técnicas para solucionar a questão, optou-se por implementar no algoritmo um filtro passa baixa, mais conhecidos como filtros de média para remover as informações discrepantes e suavizar os dados fornecidos pelo acelerômetro.

Figura 22 - Gráfico dos sinais do Acelerômetro



Fonte: Autor (2021)

Assim os valores não serão impactados pela vibração do trator durante a condução.

Para o sensor encoder e para os interruptores das alavancas foram utilizadas entradas digitais do arduino.

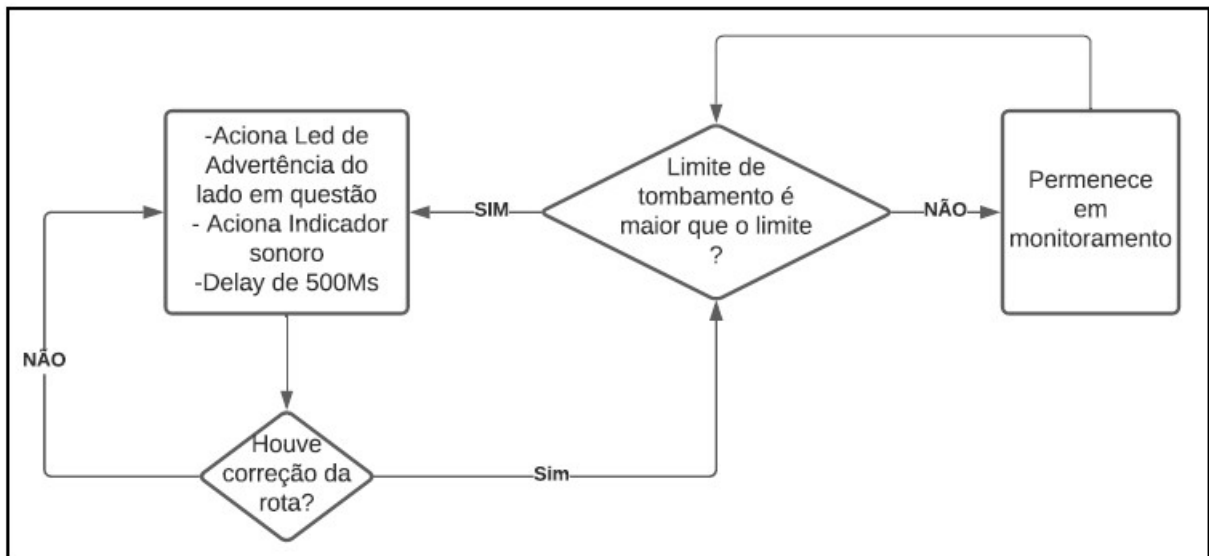
Saídas digitais foram utilizadas para os dispositivos de sinalização, cada qual programadas com delas diferentes a fim de identificar a causa do sinal emitido.

As leituras preliminares dos sensores e interruptores no sistema em bancada possibilitaram a certeza da operação do sistema no trator. O tempo de execução dos testes e montagem dos componentes nesta etapa foi de aproximadamente 30 horas, desde a implementação da programação até a definição das configurações de montagem do sistema.

3.5.1 Algoritmo

Foi criado em bancada o algoritmo do sistema e a programação. Foi utilizada a IDE que acompanha o arduino como compilador. A lógica da situação de tombamento lateral apresentada no item 3.2.1 é apresentada de acordo com o fluxograma da figura 23.

Figura 23 – Fluxograma da lógica de Tombamento lateral

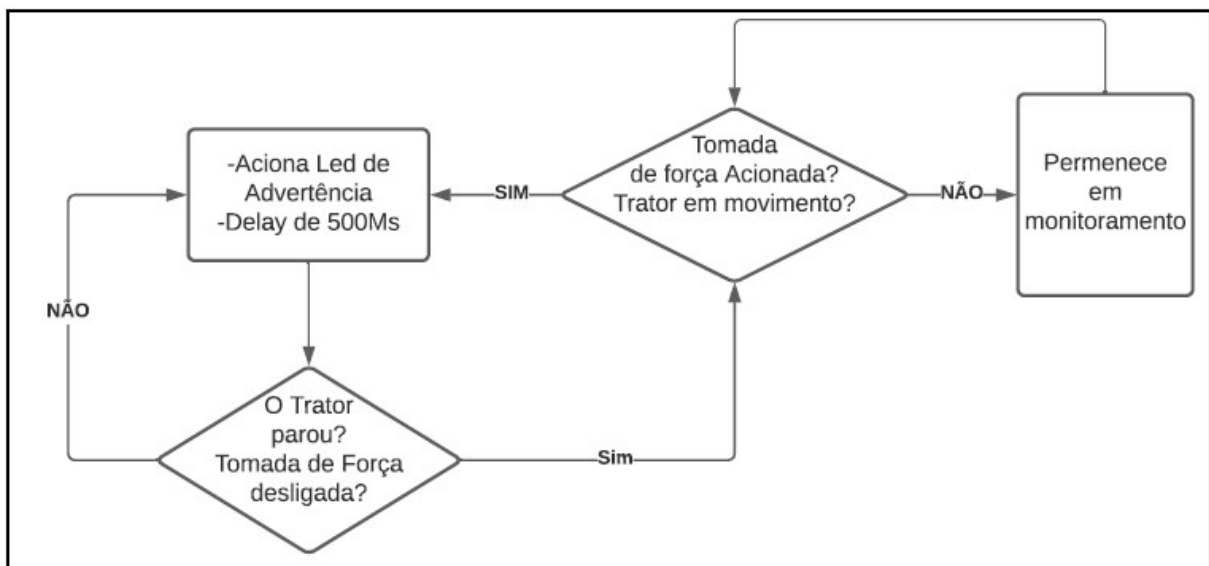


Fonte: Autor (2021)

O limite máximo foi determinado em função do tipo de terreno e a segurança que o operador necessita.

A lógica da situação de tomada de força acionada e trator em movimento apresentada no item 3.2.2 foi programada de acordo com o fluxograma da figura 24.

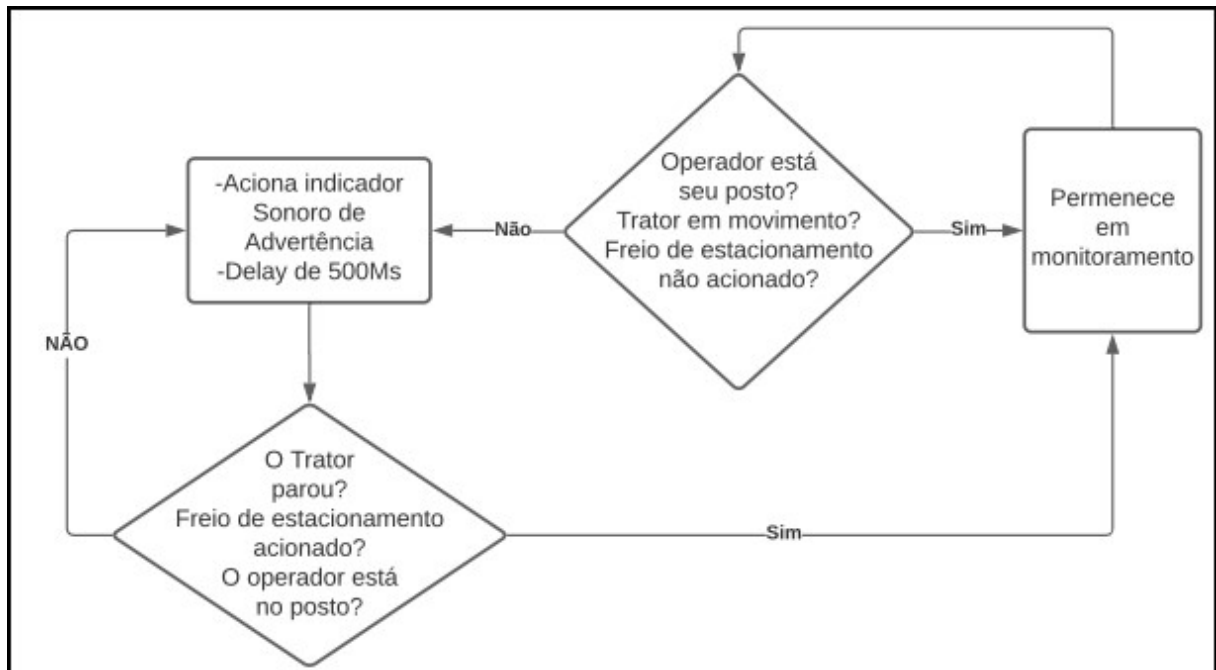
Figura 24 – Fluxograma da lógica da tomada de força acionada e trator em movimento



Fonte: Autor (2021)

A lógica da situação de trator parado e freio de estacionamento desativado apresentada no item 3.2.3 foi programada de acordo com o fluxograma da figura 25.

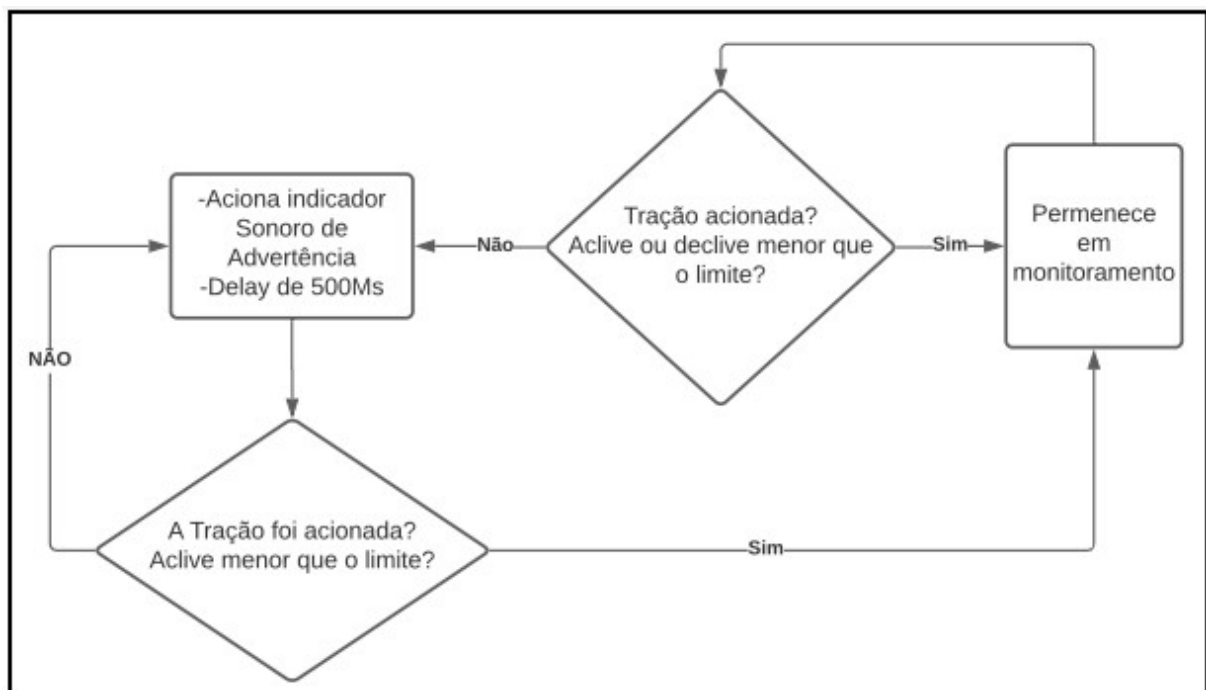
Figura 25 – Fluxograma da lógica do trator parado e freio de estacionamento desativado



Fonte: Autor (2021)

A lógica da situação em aclives e declives sem a tração acionada é apresentada no item 3.2.4 foi programado de acordo com o fluxograma da figura 26.

Figura 26 – Fluxograma da lógica do aviso de acionamento do sistema de tração



Fonte: Autor (2021)

O limite da inclinação em aclive e declive foi determinado em função do tipo de terreno e a segurança que o operador necessita.

Uma vez feita a programação, foi validado os dados de entrada em bancada e simulado todas as situações de operação do trator.

3.6 MONTAGEM DO SISTEMA NO TRATOR

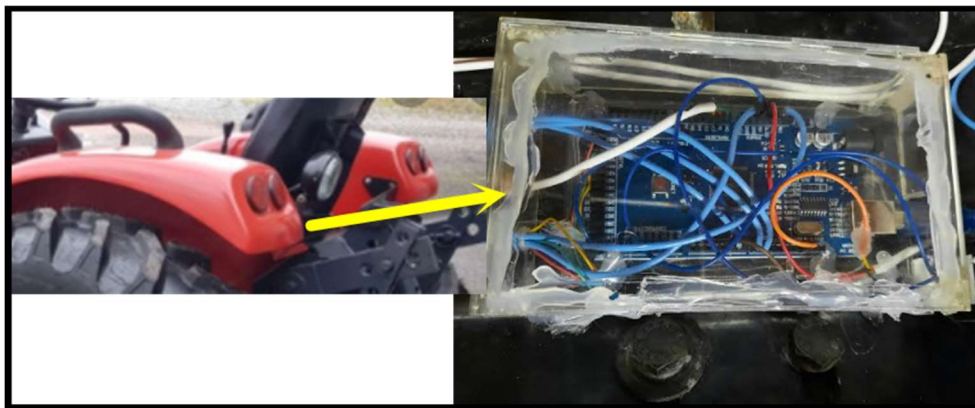
Nesta etapa foi determinado as posições dos componentes no trator. Para a escolha das localizações foram levadas as seguintes considerações:

- Facilidade de adaptação: Local de fácil manuseio e que não interfira na operação do trator;
- Facilidade de manutenção: Local de fácil acesso para rápida correção de falhas de funcionamento;
- Leitura correta de dados: O posicionamento correto e a fixação dos componentes podem comprometer os dados coletados;

3.6.1 Localização dos componentes no trator

O Arduino foi instalado sob o posto do operador. Nesta região possui um espaço considerável com facilidade de acesso, sendo que é exatamente o centro do sistema em relação aos outros componentes, conforme a figura 27.

Figura 27 – Localização do Arduino



Fonte: Autor (2021)

O Acelerômetro foi instalado no túnel do trator, entre a transmissão e o motor. Este é um dos locais mais rígidos e nivelado, garantindo a leitura com interferência mínima de vibração e inclinação, mostrado na figura 28.

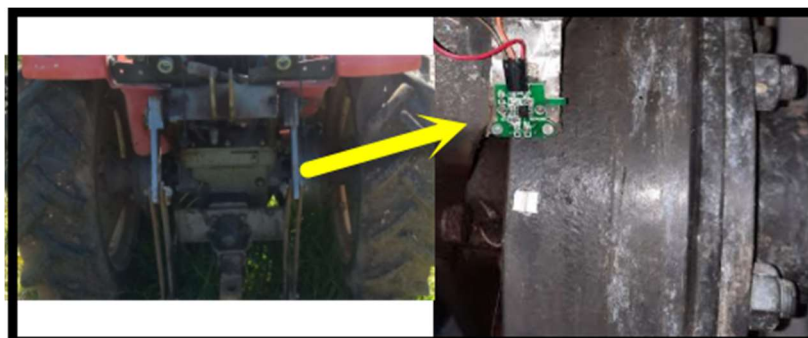
Figura 28 – Localização do Acelerômetro



Fonte: Autor (2021)

O Encoder foi instalado próximo do cubo da roda traseira direita em local fixo, conforme a figura 29. No cubo da roda foram adaptados dentes que passam pelo encoder, detectando assim o movimento do trator.

Figura 29 – Localização do Encoder



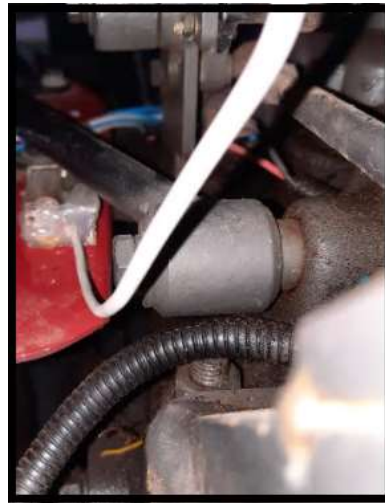
Fonte: Autor (2021)

O botão de desativação do sistema de advertência para inclinação bem como os indicadores visuais foram instalados no painel do trator.

Os interruptores de contato das alavancas foram instalados de forma a detectar a mudança de posição das mesmas. Estes são fixos, e detectam a mudança de posição através imãs que estão fixos nas alavancas.

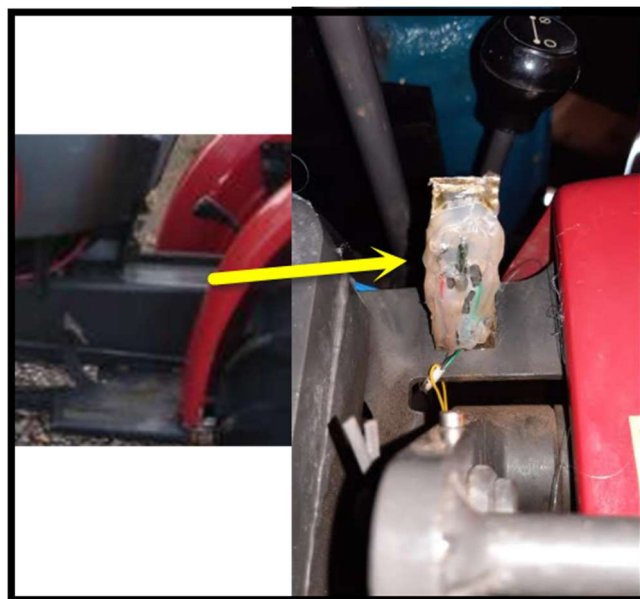
A figura 30 apresenta o local da instalação do interruptor do estado da alavanca da tomada de força.

Figura 30 – Localização do Sensor de Detecção da Tomada de Força



O interruptor do estado da alavanca de acionamento do sistema de tração foi montado no trator conforme a imagem da figura 31.

Figura 31 – Localização do Sensor de Detecção Tração Ativada



Fonte: Autor (2021)

A figura 32 apresenta o local de instalação do interruptor do freio de estacionamento.

Figura 32 – Localização do Sensor de Detecção do freio de estacionamento



Fonte: Autor (2021)

O interruptor de detecção do posto do operador foi instalado no banco do operador, conforme a figura 33.

Figura 33 – Localização do Sensor do do posto do operador



Fonte: Autor (2021)

No painel de instrumentos foi instalado os aviadores óticos, com o intuito de informar o operador e à pessoas próximas do trator quando a tomada de força está ativada. A sirene de sistema de ré, que é um item obrigatório de fabrica dos modelos 2014, foi utilizado como o dispositivo de sinal sonoro também para o dispositivo de advertência.

4 RESULTADOS

Após concluir a montagem do sistema no trator e verificar o perfeito funcionamento dos componentes do sistema, foram realizados trajetos com o trator para comprovar o funcionamento do sistema, com ou tempo de testes de aproximadamente 8 horas. O trator foi conduzido por um trajeto de aclave, declive, com inclinação para a direita e a esquerda

Os dados foram coletados continuamente durante os percursos para avaliar a ocorrência dos avisos em relação aos limites de inclinação.

Da mesma forma foi avaliado o sistema de advertência independente da inclinação, avaliando as situações de uso diário do trator.

4.1 RESULTADOS RELACIONADOS À INCLINAÇÃO

Os dados coletados estão em função do deslocamento do trator e da escala decimal do acelerômetro, que foi convertida em graus.

Para a calibração e conversão do valor decimal do acelerômetro para valores de inclinação em graus foi utilizada a técnica da tangente inversa da função aplicada no algoritmo de conversão.

Não foi localizado na literatura técnica o limiar do ângulo de aclave e declive e de tombamento lateral máximo do trator aplicado ao trabalho. Este ângulo se encontrado não poderia ser aplicado na configuração do sistema devido ao risco iminente de tombamento. Foram consideradas também as imperfeições no trajeto, os tipos de implemento e entre outros fatores que podem alterar o centro de gravidade do do trator.

Visando a segurança nos testes e para níveis experimentais, foi determinado pelo autor os ângulos máximos limites para que ocorresse o funcionamento do sistema, conforme os dados abaixo:

- Ângulo de inclinação lateral – Eixo Y – Roll: 9° para a esquerda correspondente a 194 ao valor analógico decimal do acelerômetro;
- Ângulo de inclinação lateral – Eixo Y– Roll: 9° para a direita correspondente a 218 ao valor analógico decimal do acelerômetro;
- Ângulo de aclave para o aviso de acionamento do 4x4 - Eixo X– 14° correspondente a 211 ao valor analógico decimal do acelerômetro

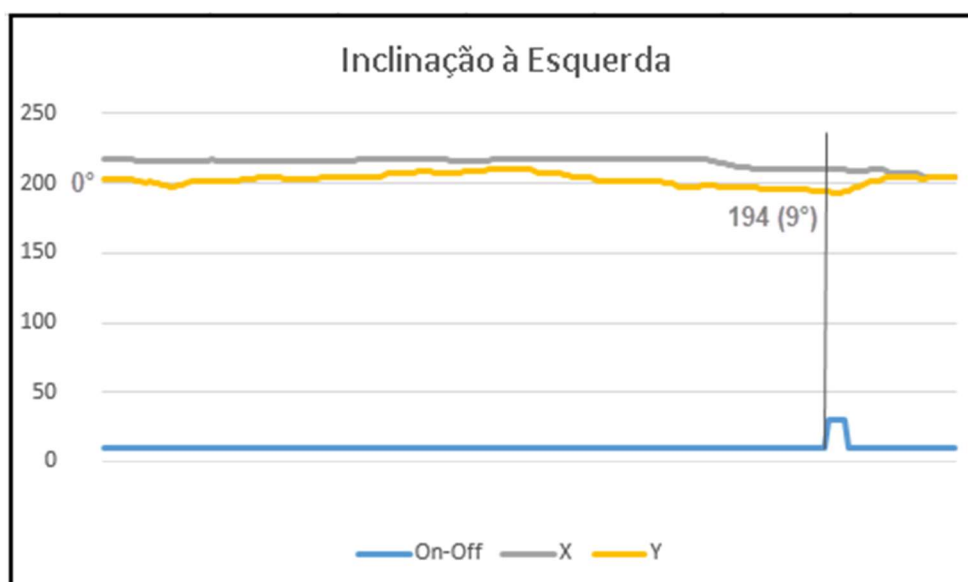
- Ângulo de declive para o aviso de acionamento do 4x4 - Eixo X– 14° correspondente a 206 ao valor analógico decimal do acelerômetro

4.1.1 Inclinação Lateral para a Esquerda

No gráfico da figura 34 se registra a característica do trajeto percorrido. Percebe-se que o Eixo x não apresenta variação significativa, apresentando o terreno irregular. O Eixo y registra a inclinação lateral do trajeto, e dispara o aviso advertindo o operador. Ao corrigir a rota, o aviso cessa e o sistema permanece em monitoramento durante todo o trajeto.

O gráfico foi obtido pelos valores nativos do acelerômetro vs o trajeto realizado.

Figura 34 – Gráfico de inclinação lateral à esquerda



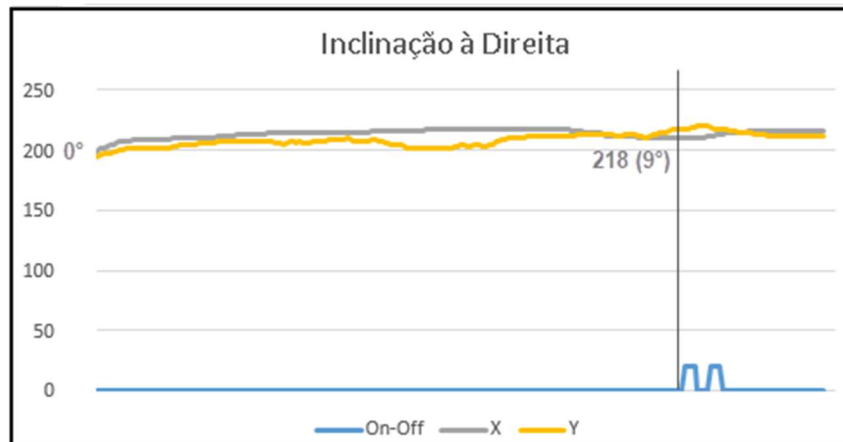
Fonte: Autor (2021)

4.1.2 Inclinação Lateral para a Direita

O comportamento do sistema é semelhante ao lado esquerdo, porém há uma demora na tomada de decisão do operador, assim o sistema dispara dois avisos sonoros conforme apresentado no gráfico da figura 35.

O gráfico foi obtido pelos valores nativos do acelerômetro vs o trajeto realizado.

Figura 35 – Gráfico de inclinação lateral à direita



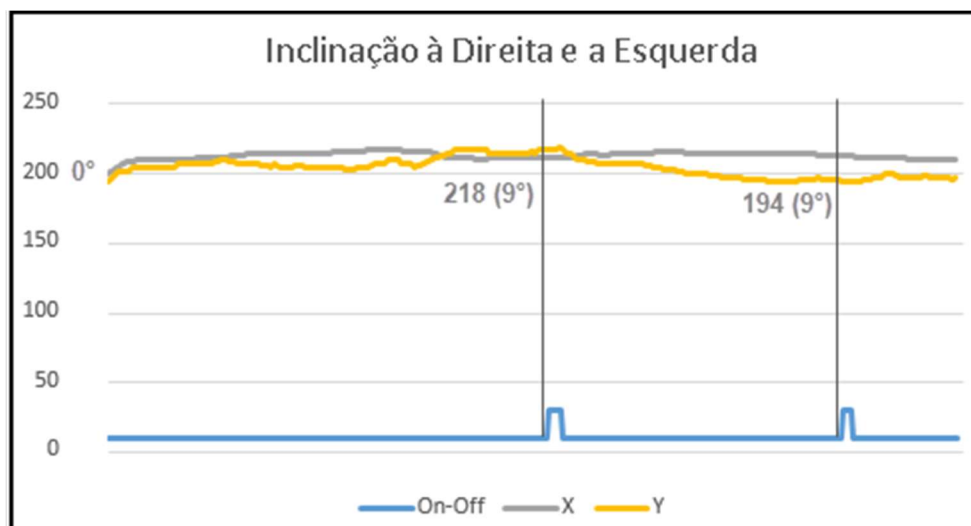
Fonte: Autor (2021)

4.1.3 Inclinação Lateral para ambos os lados

Um percurso maior foi realizado para verificar o funcionamento em modo contínuo do sistema conforme proposto. Os dados coletados comprovam a atuação permanente e que os avisos soam de acordo com o esperado.

O gráfico foi obtido pelos valores nativos do acelerômetro vs o trajeto realizado.

Figura 36 – Gráfico de inclinação lateral à direita e à esquerda



Fonte: Autor (2021)

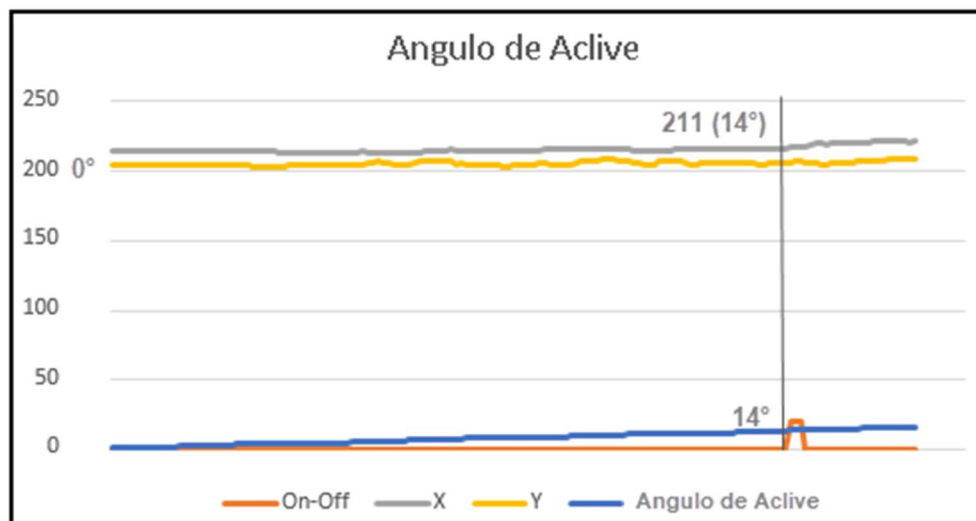
4.1.4 Aviso da ativação do sistema 4x4 em aclave

O parâmetro desta função são os dados do eixo X. O gráfico da figura 37 apresenta um trajeto em rampa, onde ao atingir o limite programado o sistema emite um sinal sonoro indicando que é recomendado a ativação do sistema de tração do trator.

O sinal permanece ativo durante a condução do trator e cessa no momento que é acionada a tração.

O gráfico foi obtido pelos valores nativos do acelerômetro vs o trajeto realizado.

Figura 37 – Gráfico de aviso do acionamento da tração em aclave



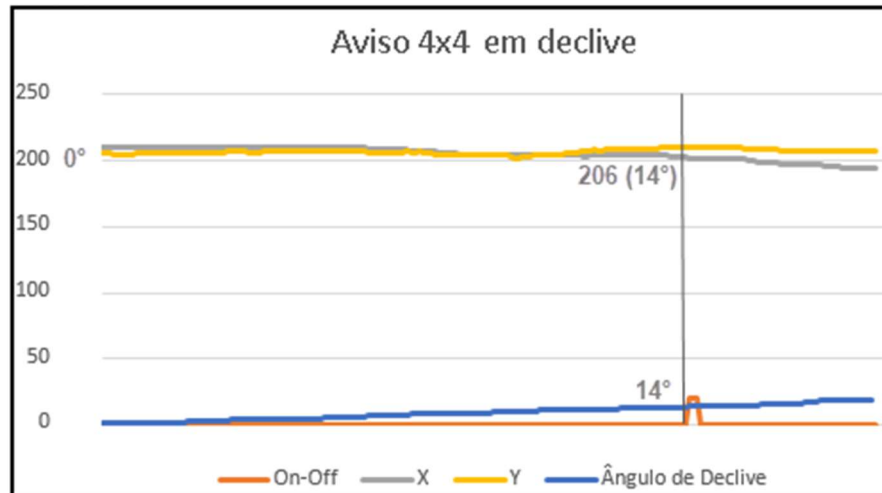
Fonte: Autor (2021)

4.1.5 Aviso da ativação da tração em Declive

O gráfico da figura 38 apresenta um trajeto em declive. Semelhante ao gráfico de aclave, porém em sentido oposto, avisando ao operador que o sistema de tração não está ativo e o trator se encontra em deslocamento e em rampa de declive acentuado.

O gráfico foi obtido pelos valores nativos do acelerômetro vs o trajeto realizado.

Figura 38 – Gráfico de aviso do acionamento da tração em declive



Fonte: Autor (2021)

4.2 AVISOS DE SEGURANÇA INDEPENDENTE DE INCLINAÇÃO

Abaixo são apresentados os resultados do sistema de segurança independente da inclinação do trator.

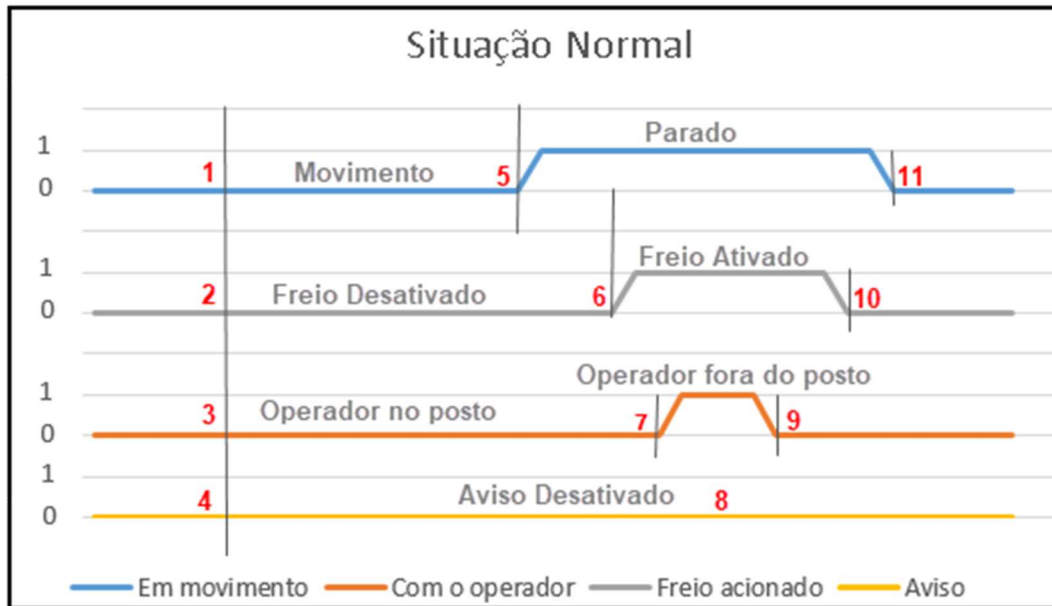
4.2.1 Aviso de segurança com o Trator Parado

Nesta situação o sistema identifica a situação que se encontra o trator, alertando o operador para assegurar que o trator está totalmente bloqueado, evitando acidades diversos conforme a situação apresentada em 3.2.3.

Com os dados coletados em uma situação normal de operação foi possível montar o gráfico apresentado na figura 39.

O gráfico foi obtido pelos valores definidos na programação para melhor visualização dos resultados vs o trajeto realizado.

Figura 39 – Gráfico de uma situação normal de operação



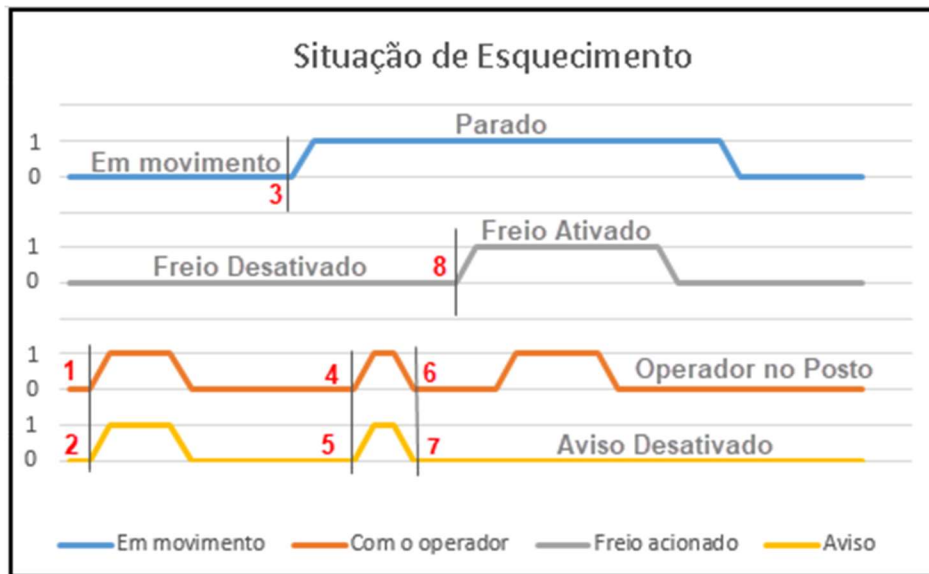
Fonte: Autor (2021)

O gráfico acima pode ser explicado por uma sequência de eventos:

1. O sistema identifica que trator está em movimento;
2. O sistema identifica que o freio de estacionamento não está acionado;
3. O sistema identifica que o operador está no seu posto;
4. Nessas condições o aviso permanece desativado;
5. O operador para o trator;
6. O freio de estacionamento é acionado;
7. O Operador deixa o posto;
8. O aviso permanece desativado;
9. O operador volta ao posto;
10. O operador libera o freio de estacionamento;
11. O trator entra em movimento;

Com os dados coletados em uma situação de esquecimento, é possível montar um gráfico que é apresentado na figura 40.

Figura 40 – Gráfico de uma situação de esquecimento na operação



Fonte: Autor (2021)

Também em uma sequência de eventos é possível explicar a situação apresentada no gráfico acima:

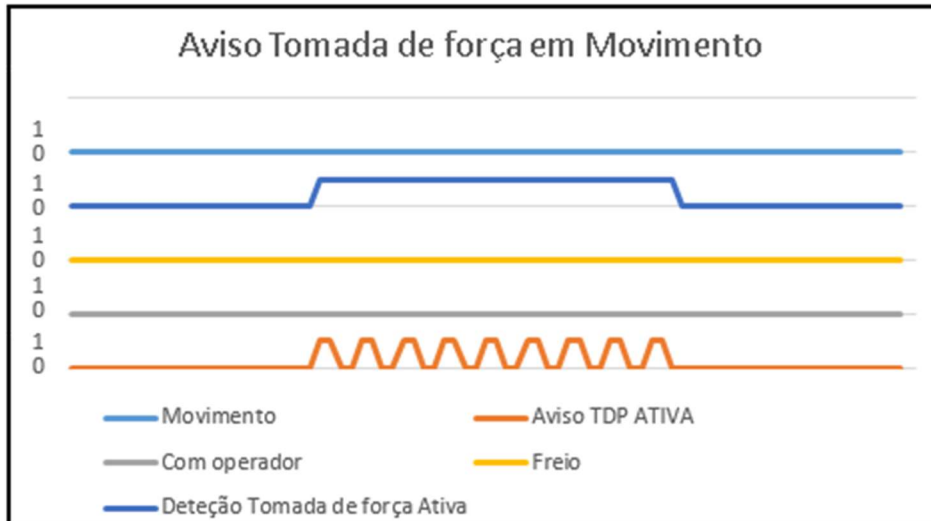
1. O primeiro evento anormal observado é que o operador deixa o posto de operação com o trator em movimento;
2. No mesmo instante é disparado o sinal sonoro para advertir e permanece acionado até o operador retornar ao posto ou melhor se acomodar no acento do trator;
3. No próximo evento ocorre a parada do trator;
4. Neste instante o operador deixa o posto e esquece de acionar o freio de estacionamento;
5. No mesmo instante o sistema dispara e permanece soando o aviso;
6. O operador retorna ao posto de operação;
7. O aviso cessa;
8. O operador aciona o freio de estacionamento e segue a sequência de operação normal do sistema;

4.2.2 Tomada de Força Acionada

Ao utilizar a tomada de força conforme a situação em 3.2.2, pode-se validar a operação conforme a situação apresentada no gráfico 41.

O gráfico foi obtido pelos valores definidos na programação para melhor visualização dos resultados vs o trajeto realizado.

Figura 41 – Gráfico de uma situação de uso da Tomada de Força



Fonte: Autor (2021)

O trator se encontra em movimento, logo o operador se encontra no posto de operação e o freio de estacionamento está desativado. No momento que é detectado o acionamento da tomada de força, o sistema passa a emitir um sinal visual com delay de 500 milissegundos indicando que a tomada de força está ativa.

5 CONCLUSÃO

Os sistemas eletrônicos estão cada vez mais presentes no setor automotivo desempenhando inúmeras funções de segurança, dirigibilidade e conforto. Os componentes eletrônicos tem se popularizado com a constante evolução e disseminação da automação em todas as áreas, desta forma estando mais baratos e acessíveis para serem aplicados em diversos segmentos.

Este trabalho teve como objetivo criar um sistema de auxílio na segurança do trator Agrale 4100.4. Foram apresentados e analisados os dispositivos de segurança de fábrica do trator, bem como a importância que os sistemas atuais desempenham na segurança. Foi realizada a pesquisa e a seleção dos dispositivos para coletar as medições de deslocamento e ângulo do trator que foi necessário para criar o sistema eletrônico de segurança. Definiu-se os componentes, a lógica de operação e foi feita a montagem do sistema em bancada, analisando e validando o funcionamento e a viabilidade do dispositivo.

A próxima etapa foi a montagem do sistema no trator. Foram instalados o controlador, o acelerômetro, o encoder e os sensores de detecção nas alavancas de acionamento a serem monitoradas, bem como a cablagem do sistema. Os componentes foram instalados em pontos estratégicos do trator visando a coleta fiel dos dados, fácil manutenção, durabilidade e com o mínimo de interferência dos componentes instalados na utilização do trator, comprovado e aprovado pelo operador do trator aplicado no trabalho durante os testes de funcionamento do sistema.

Os parâmetros de segurança utilizados na configuração do sistema foram obtidos de forma experimental visando a segurança também durante a execução do trabalho, sendo de fácil configuração no programa do dispositivo.

A coleta e a validação dos resultados comprovaram a operação do sistema de forma satisfatória, informando com fidelidade as situações de operação do trator monitoradas pelo sistema.

Nos testes realizados com o trator em operação foi comprovado o funcionamento do sistema, tendo como o resultado a ativação do alerta quanto ao risco de tombamento lateral ao atingir o valor limite definido pelo valor de 9° , soando o alarme até que ocorreu a correção da rota corrigindo a rota de condução para uma inclinação menor que 9° . Da mesma forma o sistema que alerta o operador para a ativação do sistema de tração em função do ângulo de

aclive e declive definido como 14° soa o alarme para a ativação da tração e cessa no momento que a tração é ativada pelo operador.

O resultado do modo de advertência quanto ao esquecimento do acionamento do freio de estacionamento também foi comprovado pela sequência de eventos realizada durante a condução do trator.

Por fim, pode-se afirmar que é possível instalar o sistema de segurança realizado no trabalho não somente nos modelos Agrale 4.100.4, mas em qualquer trator ou máquina móvel agrícola provida de energia elétrica, desta forma evitando inúmeros acidentes pelas mais diversas causas durante o trabalho com esses equipamentos. Também foi de grande aprendizado a realização do trabalho nesta área que não é o objetivo principal do engenheiro automotivo, mas que abre um grande leque de oportunidades de aplicação de tecnologia e inovação em prol da segurança da vida.

6 TRABALHOS FUTUROS

Pode-se criar customizações e desenvolvimentos para dar continuidade à evolução do sistema de segurança realizado no trabalho.

Assim como existem normas a serem cumpridas na segurança de equipamentos industriais, podem ser criadas normas de segurança na operação de tratores agrícolas e também promover a atualização dos dispositivos de segurança em campo. Neste sentido se abrem muitas oportunidades de negócio em troca de segurança no trabalho no campo, entre elas pode-se citar:

- O desenvolvimento de kits de instalação rápida nos tratores;
- Ofertar diferentes configurações do dispositivo;
- Desenvolver a conectividade do sistema;
- Implementar o alerta remoto da ocorrência do acidente;

Todas as funcionalidades dos tratores agrícolas podem ser monitoradas e com esses parâmetros pode-se configurar um sistema de telemetria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRALE S.A. **MANUAL DO PROPRIETÁRIO**: Tratores linha 4000. Caxias Do Sul: [s. n.], 2013. 151 p. v. 1.

ALMEIDA, Fernanda. O que é Encoder?: Para que serve? Como escolher? Como interfacear?. In: **Para que serve?** . 1. Campinas, 6 jul. 2017. Disponível em: <https://www.hitecnologia.com.br/blog/o-que-%C3%A9-encoder-para-que-serve-como-escolher-como-interfacear/>. Acesso em: 6 nov. 2020.

Arduino.cc. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>> Acesso em: 03 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 26322-1**– Tratores agrícolas e florestais – Segurança – Parte 1: Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4254-1** - Tratores e máquinas agrícolas e florestais - Recursos técnicos para garantir a segurança - Parte 1: Geral. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 13 p.

BISTAFA, SYLVIO R.: **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**, 1ª Edição. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2006.

BOYLESTAD, R. L.; NASHESKY, L.; **"Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos"**, Prentice-Hall, 8a Ed., 2004.

BRASIL. **NR-31** – Segurança e Saúde no Trabalho na Agricultura, Pecuária Silvicultura, Exploração Florestal e Agricultura. Portaria GM n.º 86, de 03 de março de 2005.

CAMINHA, A.C., **"Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos"**, São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

CARLOS FERNANDES DOS SANTOS, José. Indução Eletromagnética. In: **Indução Eletromagnética**. 1. 1. ed. Rio de Janeiro: Globo, 5 abr. 2011. Disponível em: <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/eletromagnetismo/inducacao.html>. Acesso em: 6 nov. 2020.

CHUDAKOV, D. A. **Fundamentos de la teoria y el cálculo de tractores y automóveis**. Moskow, Mir Publishers. 1977. 435 p.

CORPORATE HEADQUARTERS (Norwood, MA). Small, Low Power, 3-Axis ± 3 g Accelerometer. **Datasheet Small, Low Power, 3-Axis ± 3 g Accelerometer**, Norwood, MA, v. 1, 3 out. 2020. Disponível em: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL335.pdf>. Acesso em: 30 out. 2020.

CORRÊA, ILLA MARIA; YAMASHITA, Rosa Yasuko; FRANCO, André Vinícius Favrim; RAMOS, Hamilton Humberto. **Verificação de requisitos de segurança de tratores agrícolas em alguns municípios do estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Saúde

Ocupacional, São Paulo, v. 30, n. 111, p. 23-25, 10 jan. 2005. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S030376572005000100004&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 15 set. 2020.

ENGEMAC (Rio de Janeiro). **Trator Agrícola Agrale 4x4 4100.4 HSE**. 1. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.engemac.com.br/produto/trator-agricola-agrale-4x4-4100-4-hse/134769>. Acesso em: 6 nov. 2020.

EMBARCADOS (São Paulo). Arduino UNO. In: SOUZA, Fabio. **Arduino UNO**. 1. 1. ed. São Paulo: Fabio Souza, 29 nov. 2013. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>. Acesso em: 6 nov. 2020.

FORBELLONE, A. L, V. **Lógica de programação**. São Paulo: Makron Books, 2000.

FREESCALE . HCS08 Peripheral Module . 2006. Disponível em <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/HCS08QRUG.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

GILLESPIE, Thomas D.. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Warrendale: Society Of Automotive Engineers, 1992. 495 p.

GIORIA, G. S. **Influência da utilização do ABS na segurança veicular baseada na eficiência de frenagem e na probabilidade de travamento de roda**. 2008. Dissertação. (Mestrado em Dinâmica das Máquinas e Sistemas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

GODFREY, Alan et al. Direct measurement of human movement by accelerometry. In: M., Giorgi; E., Dall'ara. *Medical Engineering & Physics*. 10. ed. Iorque: Elsevier, 2008. Cap.4. p. 1364-1386. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350453308001653>. Acesso em: 2 out. 2020.

HALLIDAY, DAVID, Resnick, Robert e Walker, Jearl, **Fundamentos de Física Volume 3 Eletromagnetismo**, Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2007

HONEYWELL . 3-Axis Digital Compass IC HMC5883L. 2013. Disponível em <https://datasheetspdf.com/pdf-file/795537/Honeywell/HMC5883L/1>. Acesso em: 20 out. 2020.

J.M. LOPEZ-HIGUERA (ed.), **"Optical Sensors"**, Santander: Servicio de Publicaciones de la Universidade de Cantabria, ISBN: 84-8102-197-0, 1998.

LEEN, G.; HEFFERNAN, D. **Expanding Automotive Electronic Systems**. *Computing & Control Engineering Journal*, p.245-256, 2002a.

LIMA, J. S. S. **Avaliação da força de arraste, compactação do solo, e fatores ergonômicos num sistema de colheita de madeira, utilizando os tratores florestais "Feller-Buncher" e "Skidder"**. Viçosa-MG: UFV, Impr. Univ., 1998. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

LOEBLEIN, G. Frota de máquinas agrícolas está renovada?. Zero Hora, Porto Alegre, ano 5, 18 fev. 2017. Campo e Lavoura, p. 1-1. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/economia/campo-e-lavoura/noticia/2017/02/frota-de-maquinas-agricolas-esta-renovada-9724065.html>. Acesso em: 12 set. 2020.

MANZANO, J. A. N. G. **Fundamentos em Programação Assembly**. 1a. ed. São Paulo: Editora Érica, 2004.

MÁRQUEZ, L. **Maquinaria agrícola y seguridad vial**. Boletim Salud y Trabajo, Madrid, n.56, 6p. 1986.

MCROBERTS, M. **Arduino Básico**. 1. ed. São Paulo-SP: Novatec, 2011. 456p.
MTE-THOMPSON (São Bernardo do Campo). Oficina do Saber. In: **Sensor de Rotação**. 1. ed. São Bernardo do Campo: MTE-Thompson, 2 maio 2018. Disponível em: <https://cursosonline.mte-thomson.com.br/unit/aula-3-sensor-de-rotacao/>. Acesso em: 3 out. 2020.

microchip.com. Reference manual PIC18F2455/2550/4455/4550. Disponível em <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.

NIEMANN, GUSTAV. **Elementos de Máquinas**. São Paulo: Edgard Blücher, 1971.v.2.

NORTON, ROBERT L.. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.

OLIVEIRA, M. G. C. **Importância da Mecanização na Agricultura familiar Brasileira**. Click News, São Paulo, ano 2010, v. 1, p. 11, 4out.2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/869390/1/spmg.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2020.

OLIVEIRA NETTO, Alvim Antônio de. **IHC interação humano computador : modelagem e gerência de interfaces com o usuário : sistemas de informações**. Florianópolis: Visual Books, 2004. 120p. il.

PAES, Rodrigo de Barros. **Introdução à programação com a linguagem C**.ed.Novatec. São Paulo, 2016.

OLIVEIRA, Euler. Chave Fim de curso (Micro Switch). In: **Chave Fim de curso (Micro Switch)**. 1. 1. ed. Belo Horizonte: Euler Oliveira, 8 set. 2019. Disponível em: <https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-chave-fim-de-curso-micro-switch/>. Acesso em: 6 nov. 2020.

PORTAL ELETRICISTA (São Paulo). Sensores Magnéticos. In: **Sensores magnéticos**. 1. São Paulo, 12 out. 2013. Disponível em: <https://www.portaleletricista.com.br/sensores-magneticos/>. Acesso em: 6 nov. 2020.

REVISTA CULTIVAR (Pelotas). Test Drive. Test Drive Tramontini 1640, Pelotas, ano 7, v. 144, n. 1, p. 1-42, 5 set. 2014. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/materias/433>. Acesso em: 6 nov. 2020.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H.; PARCIANELLO, G.; RAMBO, L. **CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES COM TRATORES AGRÍCOLAS**. Ciência Rural, Santa Maria, ano 2002, v. 32, n. 6, p. 977-981, 10 dez. 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cr/article/viewFile/47820/27036>. Acesso em: 8 out. 2020.

SCHLOSSER, JOSE FERNANDO. **Caracterização dos Acidentes com Tratores Agrícolas**. Cienc. Rural, Santa Maria, 30 de Fevereiro de 2002.

SEVERO, J. A. A. **Sistema microcontrolado para funcionamento alternado e automático de motobombas de recalque**. 2012. 84f. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Computação) - UniCEUB - Centro Universitário de Brasília, Brasília-DF, 2012.

SHIGLEY, JOSEPH E., et. all., **“Projeto de Engenharia Mecânica”**. Editora Bookman. 7ª edição. 2005.

SILVA, CLARENCE W. **Mechatronic Systems: Devices, Design, Control, Operation and Monitoring**. 1. ed. Boca Raton: Y Taylor & Francis Group, 2008. 492 p. v. 1.

ST.COM . Reference manual STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 advanced Arm®-based 32-bit MCUs. 2019. Disponível em https://www.st.com/resource/en/reference_manual/dm00031020-stm32f405-415-stm32f407-417-stm32f427-437-and-stm32f429-439-advanced-arm-based-32-bit-mcus-stmicroelectronics.pdf. Acesso em: 20 out. 2020.

THOMAZINI, DANIEL. ALBUQUERQUE, Pedro U. B. **Sensores Industriais - Fundamentos e aplicações**. 5º ed. São Paulo: Érica, 2005. 222p.

TICHÝ, Jan ; ERHART, Jirí ; KITTINGER, Erwin; Prívratská, Jana . **Fundamentals of Piezoelectric Sensorics: Mechanical, Dielectric, and Thermodynamical Properties of Piezoelectric Materials**. Springer, 2010. Pg. 219

TIPLER, Paul A. **Física para Engenheiros**, 6º Edição, Vol. 2, 2009.

WORK SAFE B.C. (Vancouver). **Hazard Alert: Worker fatally injured when tractor overturns**. Work Safe B.C., Vancouver, ano 2009, v. 1, n. 1, p. 1-4, 6 dez. 2009. Disponível em: <https://www.worksafebc.com/en/resources/health-safety/hazard-alerts/worker-fatally-injured-when-tractor-overturns?lang=en&origin=s&returnurl=https%3A%2F%2Fwww.worksafebc.com%2Fen%2Fsearch%23q%3Dtractor%2520seat%2520belt%26sort%3Drelevancy%26f%3Alanguage-facet%3D%5BEnglish%5D>. Acesso em: 6 nov. 2020.

ZEMANSKY, SEARS E FREEDMAN, Young E. **Física III Eletromagnetismo**, Ed. Addison Wesley 2009