

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS — UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

EDUARDO ZARO

**VEÍCULO ELÉTRICO AUTÔNOMO PARA AMBIENTE INDUSTRIAL
CONTROLADO POR GPS DE BAIXO CUSTO**

São Leopoldo
2019

Eduardo Zaro

**VEÍCULO ELÉTRICO AUTÔNOMO PARA AMBIENTE INDUSTRIAL
CONTROLADO POR GPS DE BAIXO CUSTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, com ênfase em Controle e Automação Industrial, pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos — UNISINOS.

Orientador:
Prof. Ms. João Olegário de Oliveira de Souza

São Leopoldo
2019

Dedico este trabalho de conclusão a todos que me acompanharam e me apoiaram durante a graduação, em especial a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo da minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Muito obrigado aos meus pais, Marinez Sartori Zaro e Elio Zaro, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceram e são muito importantes na minha vida. Agradeço meu irmão, Gustavo Zaro, e minha tia, Onorina Sartori, por sempre me auxiliarem e me incentivarem nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Aos Diretores, Gerentes, Supervisores e colegas de trabalho da Tramontina, por toda a ajuda e apoio durante este período tão importante da minha formação acadêmica.

Aos meus amigos, que nos momentos de minha ausência dedicados ao estudo superior, sempre entenderam que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente. Meus agradecimentos a todos os amigos da graduação, em especial ao Ricardo Pereira da Silva, pela amizade e pelo auxílio durante minha formação. São amizades que vão continuar presentes em minha vida.

Aos professores do curso de Graduação de Engenharia Elétrica pelos ensinamentos, em especial a meu orientador Ms. João Olegário de Oliveira de Souza por todo apoio e paciência ao longo da elaboração do meu projeto final.

De modo geral, a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram e me apoiaram durante o decorrer desses anos.

“Que todos os nossos esforços estejam sempre focados no desafio à impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível”.
(Charles Chaplin)

RESUMO

Cada vez mais as empresas buscam redução de custos em seus processos ou produtos, a fim de obterem cada vez mais lucros e se manterem competitivas no mercado. A utilização de robôs, sistemas automáticos e AGV's na indústria vem mostrando o crescimento e a necessidade de cada vez mais otimizarem os processos.

O propósito deste projeto é o desenvolvimento um veículo elétrico autônomo capaz de percorrer um ambiente fabril de uma empresa, fazendo a locomoção de pessoas e materiais para os processos. A maior vantagem desse projeto é a redução de custos e tempo que o mesmo traz para empresa, pois é um produto de custo baixo, quando comparado à alternativas similares de mercado no mesmo segmento, e não necessita de ação do usuário para locomoção do veículo. O combustível do veículo é 100% o uso de energia elétrica, podendo se deslocar até 90 km sem a necessidade de recarga, tornando um custo inferior em comparação ao do concorrente.

O veículo elétrico autônomo é capaz de percorrer ambientes internos (fábrica) e externos (ruas e rodovias), aumentando as opções de utilização, pois independe a condição da via ou espaço que estará em funcionamento. Para se locomover, o dispositivo utiliza sinais oriundos de GPS e bússola para identificar a localização no espaço e seguir as rotas pré-definidas através das posições geográficas. Para o deslocamento interno o veículo utiliza a tecnologia de sensores infravermelho, capturando a diferença de cores e assim seguir linhas pré definidas no piso do ambiente a ser utilizado.

O veículo possui sistema de controle através de microcontroladores, que realizam a leitura e interpretam suas ações para fazer com que o produto se desloque em ambiente e rotas definidas pelo usuário transportando materiais e pessoas com segurança. Outro destaque do produto é a preocupação com a segurança, permitindo o deslocamento de pessoas, pois o mesmo possui diversos sensores que realizam análise e protegem o veículo para não realizar colisões e causar acidentes.

Com o protótipo realizado pode-se concluir que as tecnologias utilizadas nos veículos autônomos são de grande importância e adicionam conhecimento para melhorar cada vez mais os produtos relacionado a esse segmento. Com o veículo VEA prototipado, podemos afirmar a viabilidade do projeto em se locomover através de GPS e guias seguidores de linha. Os resultados apresentaram um desempenho satisfatório do produto desenvolvido, mas com grandes oportunidades de melhoria para evoluir com o produto final.

Palavras-chave: Veículo Elétrico Autônomo. GPS - Sistema de Posicionamento Global. AGV. Ambiente Industrial.

ABSTRACT

Companies are increasingly looking for cost reductions in products manufacturing processes, in order to get more profit and be more competitive in the market. The use of robots, automatic systems and AGVs in the industry shows the growth and need of increasingly optimized processes.

The purpose of this project is to develop an autonomous electric vehicle, which can travel through the factory environment of a company, transporting people and supplies. The major advantage of this project is the cost and time reduction it brings to the company - since it is a low cost product when compared to the similar alternatives in the same segment - and the needlessness of user interaction to move the vehicle. The vehicle is 100% electric-powered, being able to travel up to 90km without recharging, making it a cheap alternative to its competitors.

The autonomous electric vehicle can travel through both internal (factory) and external (streets and highways) areas, making it a very versatile product, regardless of the condition of the road or path where it operates. To get around, the device uses GPS and compass signals to locate itself in space and follow pre-defined routes across geographic locations. When indoors, it uses infrared sensors, identifying the difference in colors and thus following predefined lines designated on the floor.

The vehicle is controlled by microcontrollers, which read and interpret user interactions to make sure the product moves around areas and routes defined by the user with safety, transporting people and supplies. The key feature of the product is safety: because it shares the space with people, the vehicle has several sensors that perform analysis and avoid collisions and/or accidents.

After developing the prototype, it is possible to conclude that the technologies used in autonomous vehicles are of great importance and provide knowledge to keep improving solutions in this segment. The results show the developed product achieved satisfying performance, but with great room for improvement in the future.

Keywords: Automatic Electric Vehicle. GPS - Global Positioning System. AGV. Industrial Environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Foto representativa do modelo Tesla Roadster, um carro elétrico do tipo esportivo, produzido pela Tesla Motors no ano de 2008.	20
Figura 2 – Diagrama de blocos de um veículo elétrico.	22
Figura 3 – Veículo Elétrico Tramontina, modelo 170CP de Golfe.	24
Figura 4 – Bateria de chumbo-ácido da fabricante Trojan <i>Battery Company</i> de 8 V.	25
Figura 5 – Banco de baterias (48 V) utilizado no veículo elétrico da marca Tramontina.	25
Figura 6 – Controlador modelo AC 1232SE fabricado pela <i>Curtis Instruments Inc.</i> utilizado pela Tramontina nos carros de golfe.	26
Figura 7 – Esquema elétrico do controlador Curtis AC 1232SE.	27
Figura 8 – Exemplo de parâmetros ajustáveis do veículo da Tramontina.	28
Figura 9 – Montagem de um controlador com motor AC em um veículo elétrico da Tramontina.	28
Figura 10 – Classificação do nível de automação dos veículos.	30
Figura 11 – Tempo de reação do ser humano e de um processador.	31
Figura 12 – Veículo Autônomo do Google em circulação.	32
Figura 13 – Exemplo de um AGV utilizado em ambiente fabril.	32
Figura 14 – Representação dos satélites distribuídos na órbita terrestre.	34
Figura 15 – Triangulação dos sinais emitidos ao receptor de GPS.	35
Figura 16 – Principais erros e interferências que o sinal do GPS pode apresentar.	35
Figura 17 – Diagrama básico de um sistema embarcado com um microcontrolador.	36
Figura 18 – Placa Arduino MEGA.	37
Figura 19 – Campo Magnético da Terra.	38
Figura 20 – Diagrama de blocos do magnetômetro HMC5883L.	39
Figura 21 – Orientação magnética onde o projeto será aplicado.	39
Figura 22 – Exemplo de sensor de refletância QRE - analógico.	40
Figura 23 – Transmissor/receptor ultrassônico.	41
Figura 24 – Transmissor/receptor ultrassônico.	41
Figura 25 – Composição básica da tecnologia Identificação por Rádio Frequência.	42
Figura 26 – Sistema n-bit <i>transponder</i> por acoplamento indutivo.	43
Figura 27 – Motor de Passo NEMA.	44
Figura 28 – Tipos de motores de passo.	45
Figura 29 – Parque fabril da empresa Tramontina Multi onde foram realizadas os testes de locomoção do veículo	46
Figura 30 – Rotas traçadas pelo VA na empresa Tramontina Multi. A linha amarela delimita a divisa do território da empresa. As demais linhas (vermelha, azul e verde) determinam as rotas traçadas	47
Figura 31 – Fluxograma de funcionamento do VE.	48
Figura 32 – Fluxograma da estrutura mecânica do projeto.	49
Figura 33 – Fluxograma dos sistemas elétricos do veículo Tramontina.	51
Figura 34 – Diagrama de blocos do sistema.	52

Figura 35 – Conectores de alimentação do microcontrolador.	53
Figura 36 – Localização do sistema eletrônico projetado.	54
Figura 37 – Sensor SICK, modelo GRTE18S-P2347.	54
Figura 38 – Bússola eletrônica (magnetômetro) modelo HMC5883L, fabricante Adafruit.	55
Figura 39 – Posição de instalação dos sensores ultrassônicos.	56
Figura 40 – Módulo RFID MFRC522 Mifare.	57
Figura 41 – Posição de instalação do motor de passo na direção do veículo.	57
Figura 42 – Driver WD-72.	58
Figura 43 – Módulo Adafruit Ultimate GPS Shield.	58
Figura 44 – IHM Nextion, modelo NX4832T035_011R.	59
Figura 45 – Ilustração do painel com a IHM e os dispositivos de controle pelo usuário.	59
Figura 46 – Chassi utilizado no projeto do VEA.	63
Figura 47 – Diagrama de blocos do sistema de hardwares projetado	64
Figura 48 – Esquema de ligação dos sensores ultrassom HC-SR04 no microcontrolador.	65
Figura 49 – Fixação dos sensores de identificação de objetos ultrassônicos no VE.	65
Figura 50 – Módulo conversor de tensão PWM para analógico.	66
Figura 51 – Instalação dos sensores infravermelho na parte frontal do veículo.	67
Figura 52 – Esquema de ligação dos sensores infravermelhos (imagem do sensor meramente ilustrativa).	67
Figura 53 – Instalação da bússola eletrônica (magnetômetro) na base do VE.	68
Figura 54 – Instalação da antena externa do GPS no teto do veículo.	69
Figura 55 – Esquema elétrico do shield GPS acoplado no microcontrolador.	69
Figura 56 – Montagem e fixação do motor de passo no setor de direção do VE.	70
Figura 57 – Leitor RFID instalado no painel do VE.	70
Figura 58 – <i>Layout</i> da IHM <i>Nextion</i> montada no VE.	71
Figura 59 – Fluxograma apresentando todas as funções projetadas no <i>software</i> do veículo.	72
Figura 60 – Comportamento da direção do veículo através dos sinais dos sensores.	73
Figura 61 – Sistemas de coordenadas geográficas ilustrada na Terra.	74
Figura 62 – Rota projetada no software de deslocamento do VE.	75
Figura 63 – Declaração dos elementos utilizados na IHM.	79
Figura 64 – Identificação dos elementos no software de desenvolvimento Nextion.	79
Figura 65 – Veículo Elétrico Autônomo.	80
Figura 66 – Veículo Elétrico Autônomo em percurso na rota traçada em ambiente industrial	82
Figura 67 – Sensores infravermelho em funcionamento na linha criada no ambiente industrial.	83
Figura 68 – Coordenada Geográfica obtida pelo módulo do projeto comparado com a obtida no <i>Google Maps</i>	84

Figura 69 – Realização da medição do ponto físico para ser comparado com a coordenada real.	84
Figura 70 – Ângulo calculado da direção do veículo através da bússola eletrônica. . . .	86
Figura 71 – Análise do erro de deslocamento com o ponto da rota criada.	87
Figura 72 – IHM em funcionamento durante percurso do veículo autônomo.	88
Figura 73 – Objeto identificado no percurso do veículo elétrico autônomo.	89
Figura 74 – Amostra do objeto identificado a uma distância de 2,46 m.	90
Figura 75 – Veículo Elétrico Autônomo desenvolvido no projeto deslocando uma pessoa durante o ambiente industrial da empresa.	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Veículos Elétricos em comercialização no mercado brasileiro.	22
Tabela 2 – Características da placa Arduino MEGA.	37
Tabela 3 – Custos dos sistemas mecânicos retirados do projeto original.	50
Tabela 4 – Custos dos sistemas retirados do projeto original.	60
Tabela 5 – Custos dos sistemas adicionados no projeto.	61
Tabela 6 – Coordenadas geográficas da rota pré-definida no projeto do VEA.	76
Tabela 7 – Análise da exatidão do módulo GPS do projeto VEA em diversos ambientes possíveis.	85
Tabela 8 – Custos dos componentes retirados do projeto original.	92
Tabela 9 – Custos dos sistemas incorporados no projeto do VEA.	92

LISTA DE SIGLAS

AC	<i>Alternating Current (Corrente Alternada)</i>
AGV	<i>Automatic Guided Vehicles ou Veículo Guiado Automaticamente</i>
DC	<i>Corrente Contínua</i>
EUA	<i>Estados Unidos da América</i>
GND	<i>Ground ou Terra</i>
GPS	<i>Global Position System ou Sistema de Posicionamento Global</i>
I2C	<i>Inter-Integrated Circuit ou Circuito Interintegrado</i>
IHM	<i>Interface Homem-Máquina</i>
LED	<i>Light Emitting Diode ou Diodo Emissor de Luz</i>
LIDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
MISO	<i>Master Input Slave Output ou Mestre Entrada Escravo Saída</i>
MOSI	<i>Master Output Slave Input ou Mestre Saída Escravo Entrada</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation ou Modulação de Largura de Pulso</i>
RADAR	<i>Radio Detection And Ranging ou Detecção e Telemetria por Rádio)</i>
RFID	<i>Radio-Frequency IDentification ou Identificação por Rádio Frequência</i>
RTOS	<i>RTOS – Real Time Operating System ou Sistema Operacional de Tempo Real</i>
SCL	<i>Serial Clock Line ou Clock Serial</i>
SDA	<i>Serial Data Line ou Dados Seriais</i>
SD Card	<i>Secure Digital Card ou Cartão Digital Seguro</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface ou Interface Periférica Serial</i>
USB	<i>Universal Serial Bus ou Porta Universal</i>
VA	<i>Veículo Autônomo</i>
VE	<i>Veículo Elétrico</i>
VEA	<i>Veículo Elétrico Autônomo</i>
VCC	<i>Tensão em Corrente Contínua</i>
VCL	<i>Linguagem de programação</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
°C	Graus Celsius
dB	Decibel
m	Metro
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetro
mph	Milha terrestre por hora
ft	Pé
Hz	Hertz
k	Quilo
km	Quilômetro
km/h	Quilômetro por hora
M	Mega
V	Volts
W	Watt

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Definição do Tema ou Problema	16
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Justificativa	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Veículo Elétrico Automotivo	19
2.1.1 Vantagens dos Carros Elétricos	20
2.1.1.1 Eficiência	20
2.1.1.2 Veículos Silenciosos	20
2.1.1.3 Não poluentes	21
2.1.2 Desvantagens dos carros elétricos	21
2.1.3 Modelos de Veículos Elétricos - Mercado Brasileiro	21
2.1.4 Funcionamento básico do veículo elétrico	22
2.2 Veículos Elétricos de Golfe	23
2.2.1 Funcionamento do carro elétrico de golfe	24
2.2.1.1 Baterias	24
2.2.1.2 Controlador Eletrônico	25
2.3 Veículos Autônomos	28
2.3.1 AGV - Veículo Guiado Automaticamente	32
2.4 Posicionamento e Localização	33
2.4.1 Sistema de Posicionamento Global	34
2.5 Sistemas Embarcados	36
2.5.1 Microcontrolador	36
2.6 Sensoriamento	38
2.6.1 Magnetômetro	38
2.6.2 Sensor de Refletância	40
2.6.3 Sensor Ultrassônico	40
2.6.4 Identificação por Rádio Frequência	42
2.7 Atuadores e Acionamentos	43
2.7.1 Motor de Passo	44
3 METODOLOGIA	46
3.1 Funcionamento do veículo proposto	46
3.2 Sistema Mecânico do Veículo	48
3.3 Sistema Elétrico do Veículo	50
3.4 Dispositivos eletrônicos para veículo elétrico autônomo	52
3.4.1 Microcontrolador - Arduino MEGA 2560	53
3.4.2 Sensor de refletância	54
3.4.3 Bússola Eletrônica	55
3.4.4 Sensor ultrassônico	55
3.4.5 Sistema RFID	56
3.4.6 Driver e motor de passo	57
3.4.7 Sistema de posicionamento global	58

3.4.8	<i>Display</i> digital	59
3.5	Custos do projeto	60
3.6	Validação do Projeto	61
4	PROJETO	63
4.1	Hardware mecânico	63
4.2	Hardware eletroeletrônico	63
4.2.1	Sensor ultrassônico	64
4.2.2	Filtro passa baixo (RC)	66
4.2.3	Sensor infravermelho - seguidor de linha	66
4.2.4	Bússola Eletrônica	68
4.2.5	Módulo GPS	68
4.2.6	Motor de passo	69
4.2.7	RFID - <i>start</i> do veículo	70
4.2.8	IHM <i>Nextion</i>	71
4.3	Software	71
4.3.1	<i>Software</i> - Seguidor de linha	72
4.3.2	<i>Software</i> - Sistema de posicionamento global	74
4.3.3	<i>Software</i> - Sensoriamento de segurança	78
4.3.4	<i>Software</i> - <i>Interface</i> Homem Máquina	78
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
5.1	Análise do sistema de locomoção	80
5.1.1	Linha	81
5.1.2	GPS	83
5.2	Resultados periféricos	88
5.3	Sensoriamento de segurança	89
5.4	Funcionamento do projeto	90
5.5	Análise dos custos	91
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
6.1	Trabalhos futuros	95
	REFERÊNCIAS	97
	ANEXO A – TERMO DE CONFIDENCIALIDADE	101

1 INTRODUÇÃO

O uso da tecnologia no ambiente industrial atinge níveis talvez já imagináveis, tendo em vista o atual investimento de empresas em processos com automações e com robôs de elevado índice de eficiência e segurança. Isto traz ganhos às empresas, pois a produção de produtos de baixo custo e com qualidade as tornam cada vez mais competitivas. A automação também apresenta benefícios nos requisitos de segurança, o que é de grande valia, uma vez que as empresas devem se preocupar com a saúde de seus colaboradores por atendimento à legislação, garantindo o bem-estar pessoal durante o trabalho.

Além da aplicação de robôs nas indústrias, surgiram os veículos guiados automaticamente, conhecidos como AGVs, do inglês *Automated Guided Vehicles*. Esses dispositivos são capazes de se locomover através de sistemas eletrônicos em um ambiente fabril, transportando materiais e componentes para diversos processos. O principal objetivo desta tecnologia é a redução no tempo de movimentação e deslocamento pelas fábricas, uma vez que podem ser guiados por fio indutivo no piso, fita magnética, por meio óptico e a laser (TABALDI; KAVISKI, 2017).

O mercado automobilístico não é diferente do ambiente industrial. Em anos recentes, houve o surgimento de veículos autônomos (VA's) com o objetivo de diminuir a necessidade de um motorista para realizar deslocamentos. Existem cinco níveis de automação nos veículos atuais, com diversos critérios e avaliações de ações que o usuário tem sobre o veículo. Apesar de não existirem veículos em comercialização com nível de automação completa, isto é, sem necessidade de nenhuma ação humana envolvida (KPMG, 2012), espera-se que em poucos anos VA's estejam presentes nas ruas do mundo inteiro, alterando a forma de locomoção das pessoas. O quesito segurança é um dos fatores fundamentais para esta tecnologia ser comercializada, pois especialistas afirmam que VA's reduzirão os índices de mortes nas estradas. Os VA's são seguros e diminuirão acidentes nas estradas (Instituto Avante Brasil, 2010).

Tanto ambientes industriais quanto áreas de lazer possuem a necessidade de realizar o deslocamento de materiais e pessoas com segurança e custos reduzidos. Então, por que não unir a tecnologia dos AGV's com VA's? Neste sentido, este projeto visa a criação de um veículo para ambiente industrial, que se desloca em ambiente interno (chão de fábrica) e ambiente externo (vias da empresa), possibilitando o transporte de pessoas e materiais no processo produtivo. O veículo poderia tanto ser utilizado como AGV, translocando equipamentos ou insumos de uma fábrica para a outra, quanto como meio de transporte de pessoas, conduzindo-as em uma visita pelos corredores da empresa, por exemplo. O veículo será totalmente elétrico, podendo se deslocar em grandes distâncias com custo baixo (FONTAINHAS, 2013).

Para realizar a locomoção, existem diversas tecnologias aplicáveis, mas este projeto utilizará o meio óptico e o Sistema de Posicionamento Global, do inglês *Global Positioning System* (GPS). Nos veículos automotivos, são usados diversas tecnologias para fazer mapeamento e localização do veículo. Dentre todas existentes, foi utilizado o GPS, pois apresenta um resultado satisfatório com um custo baixo (GROSSA, 2017). Isto torna-se relevante, uma vez que a

pouca dissipação no mercado de VA's é ocasionada justamente pela custo elevado. Assim, o projeto deste trabalho consiste em atender o objetivo de locomover pessoas, porém com custos reduzidos comparado aos do mesmo segmento de mercado.

1.1 Definição do Tema ou Problema

A terceira revolução industrial impulsionou o avanço da tecnologia em processos produtivos (FRANCISCO; JÚNIOR, 2000). Cada vez mais as empresas buscam utilizar tecnologia em seus processos de fabricação, com objetivo de produzir produtos com menor custo e maior qualidade. Devido à necessidade de associar tecnologia e redução de custos com automação, surge a oportunidade de trabalhar na inclusão de tecnologia em veículos elétricos de golfe, viabilizando a resolução de demandas específicas tanto para o transporte de cargas quanto de pessoas.

O tema de pesquisa é a união de tecnologia ao produto, dispensando a necessidade de motorista para se locomover e desenvolvendo um VA capaz de criar rotas e se movimentar em um ambiente industrial, em ruas e em corredores internos de uma empresa. O produto poderá transportar pessoas, objetos, insumos e equipamentos por todo interior da empresa, através de rotas predeterminadas. Além disso, o veículo elétrico autônomo (VEA) poderá substituir diversas atividades nas quais é necessária mão de obra humana para serem executadas. Isso trará grandes benefícios para os usuários e empresas, como a redução de custos ao realizar operações automaticamente e, principalmente, a otimização em aspectos de segurança, pois por se tratar de um VA, o risco de acidentes entre usuários e objetos, bem como com pessoas próximas ao veículo será quase inexistente, devido aos sistemas de seguranças que serão implantados (NHTSA, 2012).

1.2 Objetivos

Para atender e aprimorar as opções no segmento de VEA's, segue nesta seção os objetivos para apresentar soluções ao mercado.

1.2.1 Objetivo Geral

Projetar e construir um veículo elétrico (VE) para uso em ambiente industrial com capacidade de se locomover automaticamente dentro das áreas delimitadas da empresa, utilizando rotas predeterminadas através da tecnologia GPS e de sensores de refletância, identificando diferentes cores de linha. O VE a ser projetado será de baixo custo e o conjunto será composto por dois sistemas de controle. O primeiro será o controlador do VE, realizando todo acionamento e locomoção do veículo. O segundo sistema será projetado através de microcontroladores, que realizarão a identificação e o controle de todo o sensoriamento, posição e criação de rotas de

navegação.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar o uso de VE's para a locomoção de transporte de pessoas;
- b) Implementar sistema de atuadores e sensoriamento para controle do VE;
- c) Implementar sistema de proteção e segurança aos usuários do veículo;
- d) Definir qual microcontrolador será necessário para atender a especificação do projeto;
- e) Implementar sistema de identificação de aproximação de objetos;
- f) Executar sistema de controle da direção e frenagem do veículo;
- g) Projetar um VE para transportar pessoas internamente em um ambiente industrial, podendo se locomover em áreas externas e internas;
- h) Implementar sistema de localização GPS;
- i) Projetar sistema de movimentação através de sensoriamento infravermelho e fototransistor (sensor de refletância);
- j) Avaliar a planta da empresa, onde será aplicado o projeto;
- k) Criar rotas de navegação utilizando tecnologia do GPS (ambiente externo) e seguidor de linha (ambiente interno);
- l) Criar interface entre projeto automatizado e usuário, com criação de *displays*, liberação do veículo com tecnologia de identificação por radiofrequência, do inglês *Radio-Frequency Identification* (RFID), e demais acionamentos digitais. Não haverá criação de acionamento mecânico, como pedais e direção;
- m) Comparar custo do projeto com veículos comerciais do mesmo segmento;
- n) Avaliar redução do custo operacionais da empresa na utilização do projeto a ser implantado.

1.3 Justificativa

O mercado está se mostrando cada vez mais interessando nas tendências do futuro como a mobilidade elétrica, um dos marcos da história do século XXI. Esta tecnologia vem se disseminando desde a metade do século XIX, porém, no Brasil, a implantação destes sistemas ainda

crece lentamente (MATULKA, 2014). O uso de tecnologia em robótica e equipamentos automatizados, por sua vez, aumentou significativamente no momento histórico atual, conhecido como indústria 4.0. Com a grande crescente nessas tecnologias, o projeto visa unir mobilidade elétrica com processos automatizados.

O estudo pretende desenvolver um protótipo de VE para transporte de pessoas ou para prática de golfe, sem haver a necessidade de comandos por parte de motorista para executar um determinado percurso. O veículo possuirá a tecnologia de traçar e seguir rotas predeterminadas através da tecnologia de GPS.

Esta proposta surgiu devido à oportunidade de trabalhar no setor brasileiro fabricante de veículos elétricos de golfe e observar a necessidade de aprimorar o produto e agregar valor de venda, trazendo tecnologia aos clientes e usuários. Os clientes que adquirem esse produto são atletas de golfe, condomínios, empresas, *resorts*, área de logísticas, entre outros. Por ser um produto vendido para um público mais seletivo, surge a oportunidade de ofertar um VE sem a necessidade de motorista, totalmente controlado eletronicamente, custando um preço muito abaixo dos padrões de mercado. Essas observações foram possíveis devido ao retorno e coleta de dados da fabricante Tramontina, na qual os clientes buscam tecnologia aliada ao preço acessível.

Atualmente, o mercado mundial está ofertando veículos comerciais ou AGV's que possam ser controlados automaticamente em diversos ambientes. Porém, na área de veículos elétricos de golfe, o mercado não apresentou nenhum avanço nesta tecnologia. Na pesquisa é possível constatar que os AGV's não são produzidos com a tecnologia GPS, sendo este mais um motivo para desenvolvimento da tecnologia de locomoção autônoma, porém agora com rotas estabelecidas através de localização geográfica. Buscando comodidade, conforto e redução de custos para as empresas e clientes, o projeto do VE de golfe apresenta essa tecnologia para mais um segmento solicitado por esse mercado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa seção apresentará alguns fundamentos para compreensão e execução do projeto de um VE capaz de transportar de pessoas. Será conduzida uma visão geral dos conceitos relacionados aos veículos elétricos automotivos, definindo algumas vantagens e desvantagens, bem como seu funcionamento básico. Na sequência, serão destacadas algumas definições acerca de VA's. Por fim, serão abordados alguns aspectos específicos relacionados aos sistemas de localização e posicionamento, sensoriamento, atuadores elétricos e algoritmos de programação.

2.1 Veículo Elétrico Automotivo

O projeto de uma carro elétrico começou a ser desenvolvido há muito tempo, até mesmo antes dos veículos a combustão. Os carros elétricos começaram a surgir no mercado por volta dos anos 1800. Apesar do início precoce, houve certa dificuldade em disseminar esta tecnologia comercialmente. Thomas Edison e Henry Ford, os principais nomes da tecnologia automotiva, eram parceiros para aprimorar a tecnologia dos carros elétricos e diminuir seu custo. Porém, os primeiros VE's de pequeno porte não percorriam grandes distâncias devido à baixa capacidade de armazenamento de energia. Além disso, o modelo T de Henry Ford, com produção em massa, fez com que os VE's parassem de serem atrativos para os consumidores devido ao custo elevado. Os VE's entraram em uma espécie de idade das trevas com pouco avanço na tecnologia. A gasolina barata e abundante, bem como a melhoria contínua no motor de combustão interna dificultaram a demanda por veículos movidos por fontes de energia alternativas (MATULKA, 2014).

Diante desse cenário, o VE perdeu espaço no mercado, sendo quase extinguido. Segundo Porchera, Loss e Miranda (2010), os veículos movidos à gasolina e/ou a álcool, mantiveram e conservaram uma hegemonia quase absoluta por aproximadamente um século, pois superaram os VE's em três questões chave: autonomia, tempo de abastecimento e custo do veículo (incluindo o preço da bateria e importação). No entanto, por volta de 2003, um novo começo foi traçado por fortes investimentos no segmento elétrico através da empresa Tesla Motors. Somando isso ao apelo ambiental e ao desenvolvimento da tecnologia, a companhia conseguiu projetar um veículo esportivo de luxo, conforme figura 1, que atingiu uma autonomia de mais de 300 Km (TESLA, 2019).

Figura 1: Foto representativa do modelo Tesla Roadster, um carro elétrico do tipo esportivo, produzido pela Tesla Motors no ano de 2008.



Fonte: (TESLA, 2019)

2.1.1 Vantagens dos Carros Elétricos

Os carros elétricos possuem várias vantagens em sua utilização, tanto em questões inerentes a forma de energia utilizada pelo sistema como em relação ao impacto no ambiente e na sociedade. Esta seção abordará em detalhes algumas destas vantagens.

2.1.1.1 Eficiência

O motor de um VE é incomparavelmente mais eficiente do que um motor movido à combustão. De acordo com Fontainhas (2013), os motores elétricos convertem cerca de 70% da energia das baterias em energia útil para o veículo. Este valor é bastante superior aos motores de combustão, que aproveitam apenas cerca de 20% da energia contida na gasolina. Os combustíveis fósseis apresentam esta perda de energia devido à queima necessária para conversão em energia na forma de calor. Além disso, carros elétricos possuem um menor custo de manutenção com relação aos carros comuns, pois não possuem uma grande variedade de peças sujeitas ao desgaste. Sendo assim, não há a necessidade de uma manutenção tão exaustiva quanto a de um veículo com motor de combustão (FONTAINHAS, 2013).

2.1.1.2 Veículos Silenciosos

A poluição sonora refere-se ao alto nível de decibéis gerado por fontes que perturbam o silêncio ambiental. Este problema é mais perceptível em grande metrópoles e afeta a saúde física e mental da população. Os VE's amenizam consideravelmente esta questão, pois produzem sons praticamente imperceptíveis ao ouvido humano, gerando, portanto, quase nenhum ruído (FONTAINHAS, 2013).

2.1.1.3 Não poluentes

Sabe-se que um dos grandes problemas dos motores à combustão são os subprodutos tóxicos gerados. Estes compostos estão relacionados às chuvas ácidas e corroboram para intensificar o efeito estufa. Assim, pensando na saúde ambiental e humana, o VE apresenta a significativa vantagem de não emitir nenhum tipo de gás poluente durante sua utilização (TRIGG; TELLEEN; FULTON, 2013).

2.1.2 Desvantagens dos carros elétricos

Existem algumas desvantagens que justificam a não disseminação dos VE's no mercado automotivo. Elas estão relacionadas a três principais pontos: autonomia reduzida, preço de aquisição relativamente elevado e composição química (FONTAINHAS, 2013). Devido ao lento desenvolvimento da tecnologia de baterias, estas ainda possuem um elevado custo. Corroborando com este fato, a escala de produção de VE's ainda é baixa. Assim, o alto custo torna a propagação de VE's à população geral inviável. Porém, com algumas melhorias nestes aspectos, os preços de aquisição tendem a diminuir e estar ao alcance de grande parte da população. Fruto da conscientização previamente referida, da aposta das marcas nesta tecnologia e de incentivos governamentais que começam a aparecer em todo o mundo, o VE tem sido visto como o veículo do futuro. Diversas montadoras pelo mundo já vêm apresentando soluções de baixo custo para ingressar com força no mercado. Segundo estudo da *Bloomberg New Energy Finance*, os VE's entrarão de maneira representativa no mercado brasileiro a partir de 2040 (IEA, 2018).

As baterias possuem em sua composição química componentes que são prejudiciais a saúde e ao meio ambiente, como soluções de chumbo-ácido. Dependendo do modelo do item, podem causar danos irreversíveis a saúde das pessoas. Ao decidirmos utilizar um componente, sempre procurando amenizar os riscos.

2.1.3 Modelos de Veículos Elétricos - Mercado Brasileiro

A nova era dos VE's já está presente no mercado mundial e brasileiro. Cada vez mais serão vistos modelos básicos sendo comercializados e ocupando espaço nas ruas brasileiras. Montadoras já estão realizando investimentos e incluindo a produção e a comercialização destes automóveis para o mercado brasileiro. Atualmente, um dos empecilhos é o valor de comercialização dos veículos, que permite a venda somente para classe A e B (ENERGIA, 2017).

A tabela 1 apresenta alguns modelos de veículos comercializados no mercado brasileiro e seu respectivo preço de venda, sendo a grande maioria do tipo híbrido (elétrico e combustível). Os veículos totalmente elétricos possuem autonomia de percurso que pode variar entre 150 e 300 Km (MIDIACON NEWS, 2015).

Tabela 1: Veículos Elétricos em comercialização no mercado brasileiro.

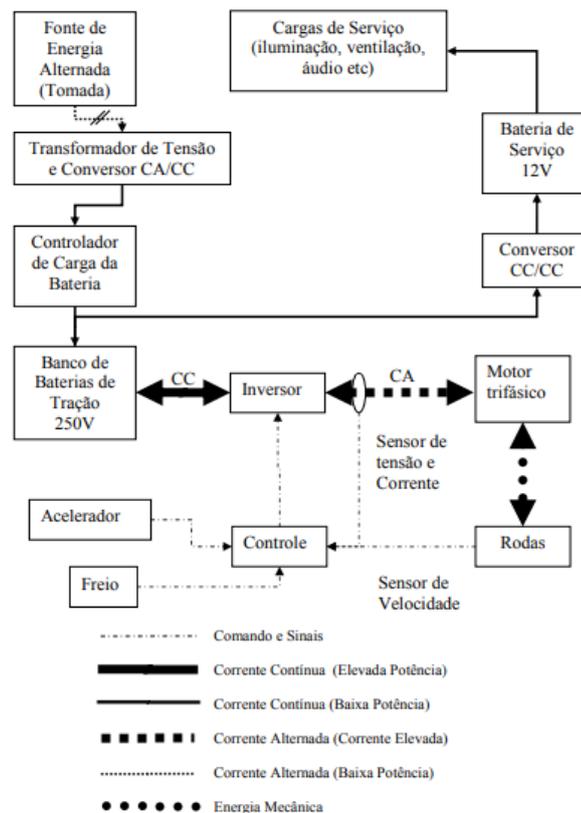
Fabricante	Modelo	Motor	Autonomia	Bateria (km)	Preço (R\$)
Renault	Zoe	Elétrico	300		149.900,00
BMW	i3	Elétrico	180		159.950,00
Lexus	CT200h	Elétrico	40		135.750,00
Toyota	Prius	Híbrido	24		126.000,00

Fonte: Adaptado de (MIDIACON NEWS, 2015)

2.1.4 Funcionamento básico do veículo elétrico

Segundo Barreto (1986), um VE funciona basicamente na forma de CC/CA (corrente contínua da bateria e corrente alternada no motor) (BARRETO, 1986). O diagrama de blocos está apresentado de modo simplificado e com algumas modificações na figura 2. Os veículos mais complexos possuem outros periféricos e veículos híbridos funcionam com uma estrutura diferente da apresentada abaixo.

Figura 2: Diagrama de blocos de um veículo elétrico.



Fonte: Adaptado de (NOCE; HORIZONTE, 2009).

As setas duplas entre o banco de baterias e o inversor, entre o inversor e o motor trifásico e entre o motor trifásico e as rodas indicam que o fluxo de energia ocorre nos dois sentidos. Ou seja, o banco de baterias de tração provê energia para a movimentação do veículo e, quando em frenagem, recupera parte da energia cinética do veículo sob a forma de energia eletroquímica, no banco de baterias de tração. Isto é conhecido como freio regenerativo. Esse recurso permite aumentar a autonomia dos veículos quando estiverem realizando frenagem. Podemos verificar que o diagrama de blocos da figura 2 contempla também o sistema de carregamento da rede de energia elétrica e os acessórios que um veículo possui, como sistemas de iluminação, ventilação, áudio, entre outros (NOCE; HORIZONTE, 2009).

2.2 Veículos Elétricos de Golfe

Outro segmento em ascensão é a utilização de veículos elétricos de golfe, mais conhecidos como carrinhos elétricos. Estes, são veículos de pequeno porte desenvolvidos devido à necessidade do mercado de golfe. Ao longo do tempo, o veículo passou a possuir versões para locomoções de 4 até 6 pessoas. O primeiro VE de golfe foi produzido em 1932 nos Estados Unidos (SOUZA, 2019). Em países desenvolvidos, esse esporte é praticado por pessoas de classe alta, tornando a venda de carrinhos elétricos muito popular.

Historicamente, foi a partir dos anos 50 que os veículos começaram se tornar mais populares com a inauguração de algumas montadoras, como a *Club Car* e a *EZ-GO*. O segmento de carros de golfe foi se desenvolvendo com o passar dos anos e abriu espaço para outros mercados e aplicações, como na indústria, em hotéis, *resorts*, feiras e eventos. Isso tudo devido à praticidade de acesso, pois são de pequeno porte, e à redução de custo comparado aos veículos movidos à combustão.

Atualmente, o mercado mundial é enorme nesse segmento, possuindo os maiores fabricantes concentradas nos EUA e na China. Na empresa americana *Club Car* são produzidos 800 veículos diários. No cenário nacional, no ano de 2018 o Brasil importou 382 veículos elétricos de golfe, o que evidencia a diferença da representatividade comparada ao americano (PENTA TRANSACTION, 2018).

Percebendo a oportunidade neste mercado, no ano de 2017, a empresa Tramontina iniciou como a primeira fabricante brasileira de VE's no segmento. Esta possui em a sua linha de produtos veículos de golfe, veículos para transporte de pessoas e veículos de cargas para área industrial (TRAMONTINA, 2019). A figura 3 apresenta um dos modelos produzidos pela empresa Tramontina.

Figura 3: Veículo Elétrico Tramontina, modelo 170CP de Golfe.



Fonte: (TRAMONTINA, 2019).

2.2.1 Funcionamento do carro elétrico de golfe

Um veículo elétrico de golfe funciona da mesma forma de um veículo elétrico automotivo, conforme apresentado na seção 2.1.4. Segundo (NOCE; HORIZONTE, 2009), os VE's são constituídos basicamente de banco de baterias, controladores e um motor elétrico.

2.2.1.1 Baterias

Para fornecer energia para locomoção dos veículos é necessário um banco de baterias. Os carros de golfe no mercado trabalham com três faixas de tensão das baterias, sendo elas 36, 48 ou 72 V. Os modelos de baterias mais utilizados para este segmento são as de lítio e chumbo-ácido. Os modelos mais vantajosos em custo versus eficiência são os bancos de baterias de chumbo-ácido de 48 V, no qual são interligadas em série 6 baterias de 8 V, conforme a figura 5. O custo total de um banco de baterias desse modelo em um veículo de golfe pode chegar a R\$5.000,00, com uma autonomia de 100 km. A figura 4 apresenta o modelo da bateria mais utilizada no mundo (TROJAN, 2019).

O uso de baterias de lítio vem crescendo com aumento do mercado automotivo devido à sua eficiência energética e seu espaço físico reduzido, porém ainda custo elevado. Atualmente essa bateria é utilizada apenas em equipamentos eletrônicos de pequeno porte como *smartphones* e *laptops*. No entanto, a tendência do mercado é redução do custo deste tipo de bateria devido ao aumento da escala de produção, possibilitando assim, sua utilização por todas as fabricantes de VE's (HAUCH et al., 2013).

Figura 4: Bateria de chumbo-ácido da fabricante Trojan *Battery Company* de 8 V.



Fonte: Adaptado de (TROJAN, 2019).

Figura 5: Banco de baterias (48 V) utilizado no veículo elétrico da marca Tramontina.



Fonte: (TRAMONTINA, 2019).

2.2.1.2 Controlador Eletrônico

Os controladores são responsáveis por realizar todos os comando desejados pelo usuário e acionamentos de segurança em um VE. São eles que irão monitorar, avaliar e executar comandos para diversas partes do veículo. Todos os sinais elétricos são enviados e executados em uma determinada ação no veículo. Existem diversos tipo e modelos de controladores no mundo que variam significativamente na aplicação e na capacidade de controle de energia. A maior fabricante do segmento de controladores eletrônicos para equipamentos de locomoção, como AGV's, empilhadeiras e VE's, é a empresa americana *Curtis Instruments* .

O controlador eletrônico deve ser escolhido baseado nas características do banco de baterias e na potência necessária do motor elétrico. Até 2018, a Tramontina utilizava controladores DC 1268 para controle de motores Sepex de 300 A. Atualmente, com a troca da tecnologia para motores de indução trifásico, a empresa passou a utilizar os controladores AC 1232SE conforme figura 6 da fabricante *Curtis Instruments Inc.* (TRAMONTINA, 2019).

Figura 6: Controlador modelo AC 1232SE fabricado pela *Curtis Instruments Inc.* utilizado pela Tramontina nos carros de golfe.



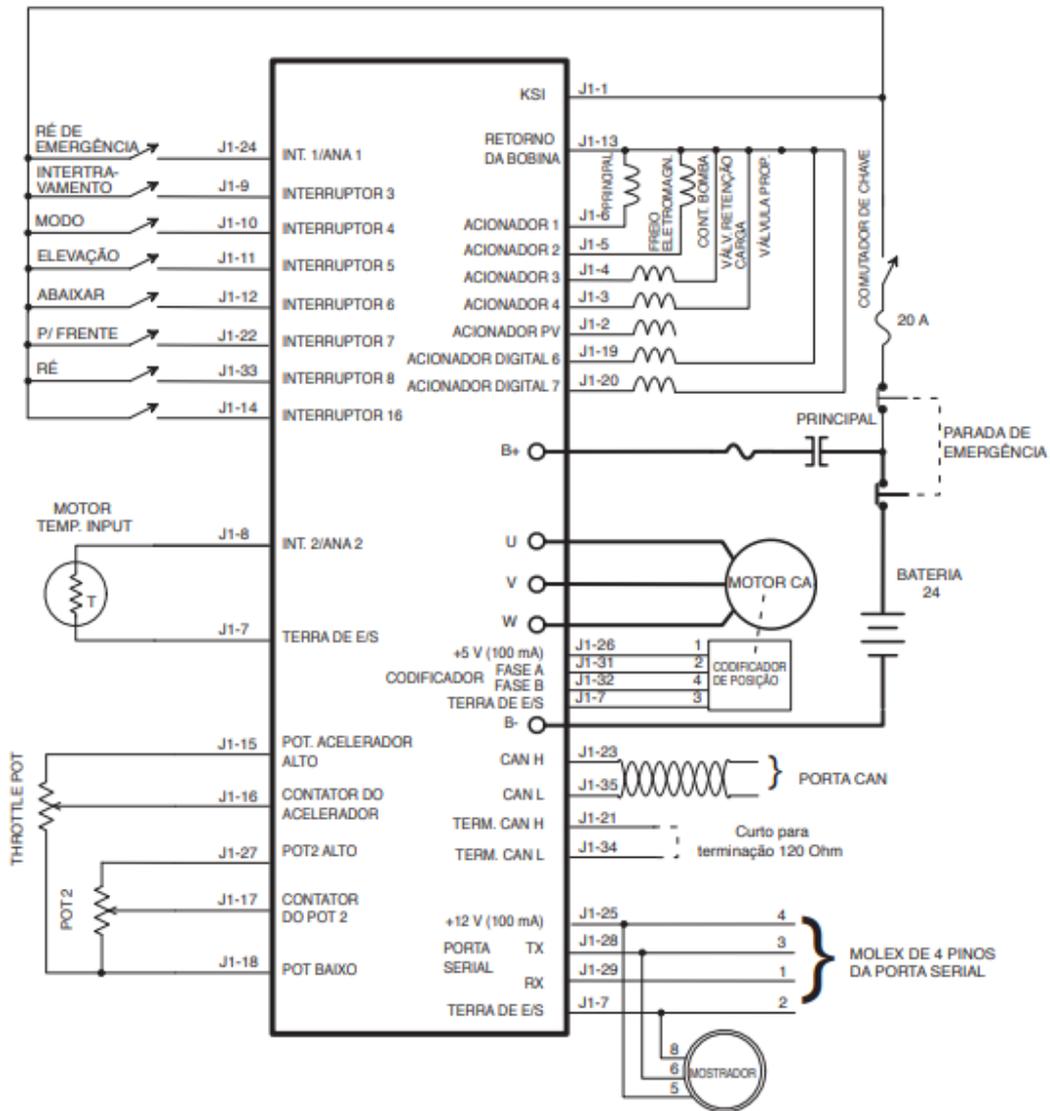
Fonte: Adaptado de (CURTIS, 2019).

A série de controladores apresentado na figura 6 é utilizada para o controle de velocidade e tração de motores AC trifásicos com potências de 1 kW até 25 kW. São destinados ao uso como controladores de motor de bomba hidráulica e à tração elétrica para aplicações que utilizam banco de baterias de 24 a 80 VCC, como VE's de pequeno porte (golfe) e AGV's. Esses controladores podem apresentar algumas características peculiares (CURTIS, 2019). São elas:

- a) Linguagem de controle de veículos VCL;
- b) Algoritmo de controle vetorial para orientação indireta pelo campo (IFO);
- c) Caracterização de motores de VE's;
- d) Conexão CANbus configurável;
- e) Sistema integrado, com entradas analógicas e digitais, acionadores de bobinas de contadores e acionadores de válvulas proporcionais;
- f) Modelos disponíveis com corrente de controle de 350 a 650 A e tensão de 24 a 48 V;
- g) Sistemas de proteção contra falhas e conexões incorretas.

Todo sistema elétrico do veículo, como iluminação, acessórios, acelerador eletrônico e tração do motor passam a ser controlados pelo dispositivo. O esquema elétrico do controlador AC 1232SE pode ser observado na figura 7.

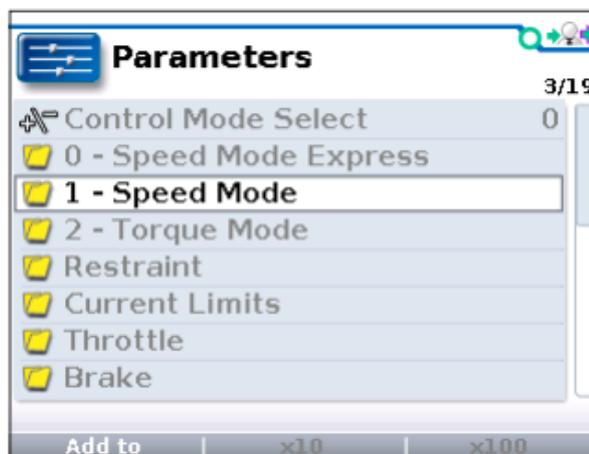
Figura 7: Esquema elétrico do controlador Curtis AC 1232SE.



Fonte: Adaptado de (CURTIS, 2019).

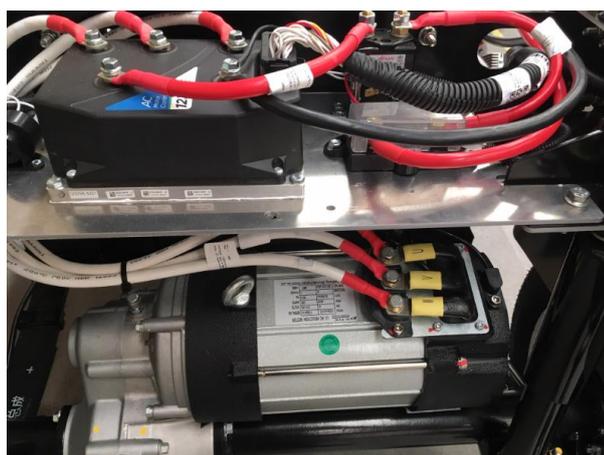
Os controladores podem ser programados conforme demanda de cada veículo e/ou necessidade do cliente. O código de programação é determinado por cada fabricante, no qual são criados diversos parâmetros que podem ser ajustados conforme necessidade. Os veículos da Tramontina possuem a possibilidade de controlar até 60 parâmetros, como velocidade, torque, aceleração, freio regenerativo, entre outros. Para realizar um ajuste é necessário utilizar um equipamento especial para acesso à programação de cada veículo produzido, conforme apresentado nas figuras 8 e 9 (TRAMONTINA, 2019). Nesses controladores é possível monitorar o funcionamento online, diagnosticando falhas ocorridas durante o uso. Isto traz mais segurança e confiabilidade ao produto.

Figura 8: Exemplo de parâmetros ajustáveis do veículo da Tramontina.



Fonte: Adaptado de (TRAMONTINA, 2019).

Figura 9: Montagem de um controlador com motor AC em um veículo elétrico da Tramontina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3 Veículos Autônomos

Os VA's, também chamados de veículos robóticos ou veículos sem motorista são considerados como robôs móveis no mundo da robótica (CHIN; WEI, 2013). Os primeiros robôs foram os braços manipuladores de base fixa, muito utilizados na indústria automotiva. Mais recentemente surgiram os robôs móveis. Estes possuem a capacidade de se deslocar de modo guiado, semi-autônomo ou totalmente autônomo. Pode-se considerar que a origem dos robôs foi fortemente comandada pelo desenvolvimento de artefatos militares, como por exemplo, VA's teleguiados. Um exemplo disso foram as bombas V1 e V2 desenvolvidas pela Alemanha durante a 2ª Guerra Mundial (JUNG; OSÓRIO; ROBERTO, 2005). Pela necessidade de aumentar a segurança diminuindo a presença humana em combate, deu-se início a uma era tecnológica voltada aos robôs móveis e ao estudo de VA's.

Os VA's são um grande avanço tecnológico para a indústria automotiva. Nos últimos anos

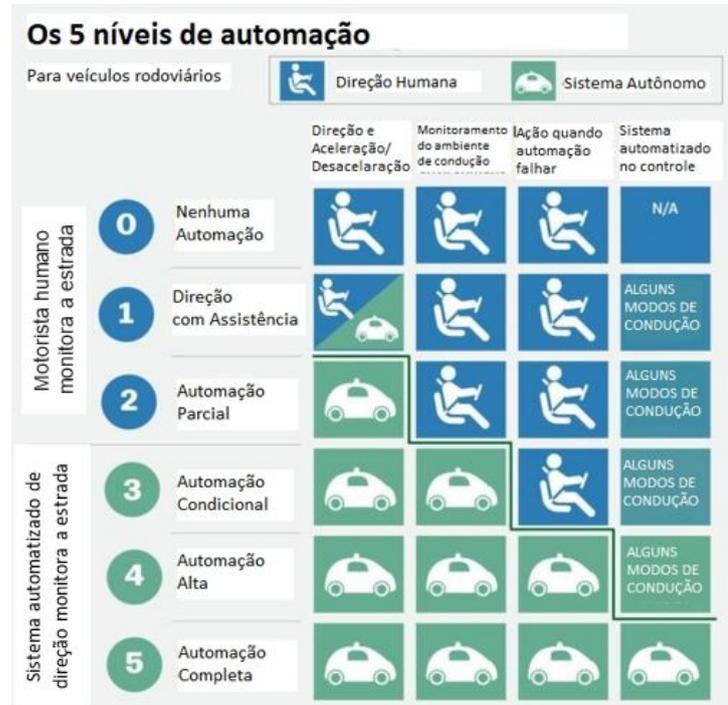
a indústria parece estar à beira de uma mudança revolucionária, o que impactará não somente o mercado competitivo, mas também a configuração de cidades e a forma de utilizar veículos (KPMG, 2012). Considerando essa tecnologia emergente, imagina-se ser possível o seguinte cenário no futuro: um homem está saindo de seu trabalho por volta das 6 horas da noite. Porém, ele ainda tem diversas tarefas para executar antes de dormir. Ele retira o celular do bolso e requisita um carro. Alguns minutos depois, um carro sem motorista estaciona em sua frente. O homem hipotético entra e diz “Casa”. No percurso, são realizadas as atividades restantes. Quando chega em casa, este homem pode usar o tempo para relaxar e aproveitar a companhia da família. O carro, por sua vez, direciona-se para o próximo cliente (CUSTODIO, 2017). Esta situação imaginária demonstra como hábitos serão modificados com a inserção desta tecnologia na vida cotidiana, aparentando maior comodidade e economia de tempo.

Os VA's têm como principal objetivo integrar um conjunto de tecnologias de sensores, sistemas de controle e atuadores para sensorar o ambiente, determinar as melhores opções de ação e executar estas ações de forma mais segura e confiável comparado ao que poderia ser obtido por um condutor humano comum. Os VA's substituiriam o condutor humano por um sistema de controle computacional que integre os recursos tecnológicos do veículo. Segundo a NHTSA (2012), o objetivo dos carros autônomos não é alcançar a capacidade humana, mas superá-la por se tornarem totalmente seguros e livre de falhas. Nos últimos anos, os carros autônomos estão evoluindo rapidamente tanto no quesito *software* como *hardware*. Os VA's são classificados em níveis entre 0 e 5, referente ao grau de automação, conforme listado abaixo e figura 10:

- Nível 0: o motorista controla todas ações do veículo, pois não existe recursos de automação.
- Nível 1: os veículos possuem um sistema inicial de ajuda à condução, auxiliando o motorista na direção e em algumas situações de frenagens e acelerações. Não executa ações no veículo, mas apenas alertas.
- Nível 2: o veículo possui recursos que permitem condução semiautônoma, passando a atuar nas situações de volante e pedais.
- Nível 3: o veículo realiza suas operações de forma autônoma em algumas situações de trânsito, como rodovias. Porém, o motorista deve estar apto para assumir a condução do carro em caso de solicitação feita pelo sistema.
- Nível 4: os veículos realizam ações sozinhos em diversas situações, exceto em condições climáticas e ambientes adversos. Aqui estão listados os veículos ainda em desenvolvimento e estudo no mercado.
- Nível 5: neste nível, o mais avançado de automação, o veículo seria capaz de realizar todas as ações sem a necessidade de um motorista para monitorar as ações. O personagem humano representaria apenas um simples passageiro, bastando informar para onde quer ir.

Pedais e volante tornar-se-iam desnecessários e os comandos poderiam ser transmitidos por voz ou pelo celular do usuário.

Figura 10: Classificação do nível de automação dos veículos.

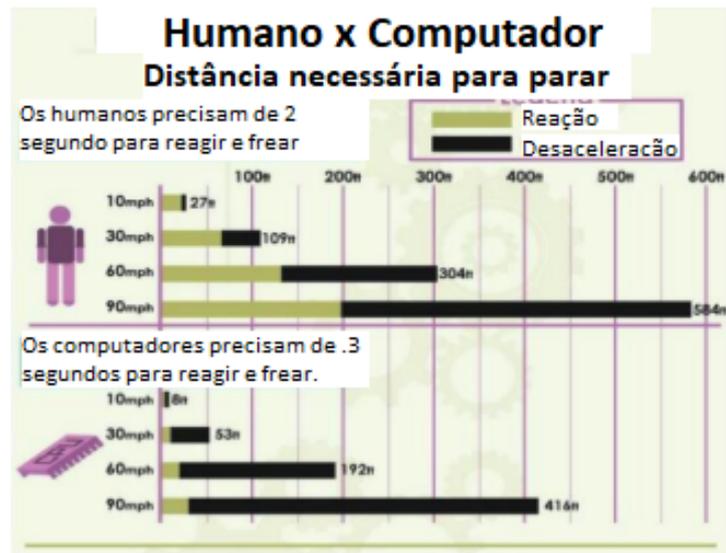


Fonte: SAE International.

A utilização de VA's iniciou por necessidade de maior proteção nas guerras e em exploração de terras desconhecidas e perigosas. Porém, atualmente o principal objetivo das empresas que estão desenvolvendo essas tecnologias é atender uma necessidade das pessoas nos quesitos segurança e redução de tempo em trânsito. Com a inserção destes veículos, as pessoas poderiam aproveitar mais o tempo gasto no deslocamento ao trabalho, realizando tarefas do seu dia a dia, por exemplo. Isso aumentaria o tempo disponível para interação com a família ou para diversão. O quesito de segurança é um dos principais motivos pelos quais as empresas de mobilidade estão investindo em VA's, pois no mundo muitas pessoas perdem suas vidas devido à imprudências ou falhas realizadas pelos humanos. No ano de 2010, somente no Brasil, 42.844 pessoas perderam a vida no trânsito. No mesmo ano, a China registrou 275.983 mortes nas estradas. O acidente de carro é a 8ª causa de morte no mundo e 95% dos acidentes são causados por falhas humanas (Instituto Avante Brasil, 2010). Diminuir o tempo de reação e melhorar a capacidade de integração dos veículos aos diferentes elementos externos significa uma melhor segurança no trânsito. Nesse sentido, a expectativa da redução de mortes no trânsito é um dos principais fomentadores dos VA's. Para se alcançar a confiabilidade esperada no que concerne a tecnologia por detrás da autonomia veicular, é imprescindível que o veículo seja capaz de extrair a máxima quantidade possível de dados da realidade ao seu redor e, através desses dados, proceder com as tarefas computadas o mais próximo da instantaneidade. Essas tarefas são ações

de condução que antes eram de responsabilidade do motorista como acelerar, frear e direcionar o veículo. Neste modelo, estas ações são integralmente realizadas por atuadores consistidos de motores elétricos e sistemas de servomecanismos (GROSSA, 2017). A figura 11 apresenta a comparação do tempo de reação entre humanos e computador.

Figura 11: Tempo de reação do ser humano e de um processador.



Fonte: Adaptado de LinkedIn (2013).

Onde: 1 mph = 1,60934 km/h e 1 ft = 0,3048 m.

Para executar e controlar todas essas tarefas, o VA necessita de tecnologia embarcada, na qual os principais *hardwares* compostos pelo VA's são RADAR, SONAR e LIDAR. Esses sensores têm a função de observar obstáculos através de detecção e sensoriamento. O RADAR transmite ondas de rádio e o SONAR emite ondas sonoras, ambos com finalidade de identificar e calcular objetos e suas distâncias. O LIDAR, por sua vez, gira constantemente emitindo em 360° feixes de laser, gerando um conjunto de coordenadas. O VA possui também um GPS, utilizado pela central para localizar-se no mapa (GROSSA, 2017).

Desse modo, esses sensores têm a capacidade de executar varreduras em todas as direções, através de dezenas de milhares de leituras por segundo. É possível interpretar essas informações e tomar decisões de locomoção. A figura 12 apresenta o VA desenvolvido pela Google.

Figura 12: Veículo Autônomo do Google em circulação.



Fonte: Google (2019).

2.3.1 AGV - Veículo Guiado Automaticamente

Na família dos robôs móveis e VA's, existem os AGV's, apresentado na figura 13. Estes são veículos que se movimentam de forma autônoma, dispensando o auxílio de operadores ou condutores. Esta tecnologia foi desenvolvida para o transporte e transferência de materiais pela planta de uma fábrica e conecta diversas áreas ou máquinas. Segundo KIM; TANCHOCO; KOO (1999), o AGV consiste em um veículo elétrico programado, guiado através de trilhos, sensores ópticos, rádio frequência ou a laser. Essa tecnologia oferece segurança e velocidade em operações ininterruptas, podendo transportar caixas, carrinhos kit ou *pallets*. O uso de AGV's cresceu consideravelmente, bem como o número de áreas de aplicação. O AGV é uma das tecnologias mais interessantes para transporte de materiais nas indústrias, carregando material do armazém até a linha de montagem, por exemplo. Seu transporte é seguro e eficaz, trazendo grandes benefícios à produção e aos usuários deste sistema (ATLEE, 2011).

Figura 13: Exemplo de um AGV utilizado em ambiente fabril.



Fonte: AGVs Moving Forward (2019).

Os AGV's são constituídos pelo sistema de orientação e pelas estações de controle do sistema. O sistema de controle tem as funções de navegação, pilotagem, controle de direção e controle de bateria, que informa o estado da mesma para o computador central (TABALDI; KAVISKI, 2017). Os principais sistemas de orientação de um AGV estão descritos abaixo:

- Guias indutivos: é feita uma ranhura no piso da instalação, por onde passa um condutor percorrido por uma corrente elétrica que induz a geração de um campo elétrico. O AGV possui na sua parte frontal bobinas de direção, nas quais são induzidas tensões que mantêm o veículo simétrico à guia indutiva.
- Reflexão ótica: são colocadas no piso da instalação fitas que refletem sinais óticos. No veículo existe uma fonte de luz de baixa potência que emite um fluxo de luz que é refletido pela fita e captado por sensores.
- Laser: nesta aplicação é utilizado um sensor laser fixo no AGV que se orienta através de pontos reflexivos fixados em pontos estratégicos, como colunas e paredes.
- Magnética: neste caso os sensores detectam faixas magnéticas no piso e é recomendável para áreas de pouco tráfego de empilhadeiras.

2.4 Posicionamento e Localização

Após definir o sistema de orientação utilizado nos VA's, há a necessidade de definir em que ponto geográfico o veículo se encontra, seu posicionamento. A demanda por definição de uma orientação e um posicionamento de objetos ou situações é necessária para diversas aplicações, sendo utilizadas em questões como localizar um navio em alto mar, uma pessoa na mata e até mesmo um avião no céu.

Historicamente a humanidade demonstrou a necessidade de localizar-se. Inicialmente, as localizações foram determinações baseadas na direção do sol e, a partir deste referencial, definiram-se os pontos cardeais (norte, sul, leste e oeste) (FRIEDMANN, 2008). Mais tarde, surgiram os primeiros dispositivos para auxiliar na localização, as bússolas. Muito utilizadas por navegadores, estes dispositivos auxiliavam o posicionamento perante os pontos cardeais, permitindo que rotas fossem traçadas. Somente no século XVIII, começaram a surgir instrumentos de medição por ângulo, gerando precisão de posicionamento baseado em longitude e latitude, conforme referenciais do Equador e Meridiano de Greenwich. No século XX, o GPS foi o principal marco, pois permitiu que usuários navegassem e se posicionassem através de coordenadas (HOFMANN-WELLENHOF; LICHTENEGGER; COLLINS, 2001).

2.4.1 Sistema de Posicionamento Global

O GPS é um sistema que utiliza satélites para localizar onde o receptor do sinal está naquele momento. É formado por três partes. São elas o espacial, o de controle e o utilizador. O formato espacial possui 24 satélites (*space vehicles*) espalhados em seis planos orbitais. O segmento de controle é responsável pelo monitoramento das órbitas dos satélites. Por fim, o formato do utilizador é o receptor de GPS, responsável pela coleta dos sinais enviados pelos satélites (PHILIFE, 2014).

Os satélites são distribuídos em 6 órbitas planas distintas, sendo cada órbita constituída por 4 satélites. As órbitas são aproximadamente equidistantes e inclinadas cerca de 55° em relação ao plano equatorial. A altitude aproximada das órbitas é de 20.200 Km e o período de revolução de cada satélite é de 12 horas siderais (FRIEDMANN, 2008). A figura 14 apresenta os satélites distribuídos na órbita terrestre.

Figura 14: Representação dos satélites distribuídos na órbita terrestre.



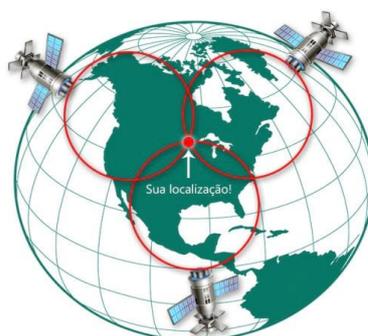
Fonte: (PHILIFE, 2014).

O sistema de GPS permite a navegação por meio de satélites artificiais, obtendo informações sobre a localização geográfica de qualquer lugar da superfície terrestre e em qualquer hora do dia. A localização geográfica ocorre em função da emissão de ondas de rádio dos satélites, que são captadas por receptores GPS na Terra. Quando decodificadas, fornecem a latitude, longitude e altitude (UPADHYAY, 2019). Os satélites, assim como os receptores do GPS, possuem um relógio interno que marca incrivelmente as horas com uma precisão exata de nano segundos. Quando o satélite emite o sinal para o receptor, o horário em que ele saiu do satélite também é enviado.

O GPS utiliza um sistema chamado de triangulação pra determinar a localização do receptor na Terra. A triangulação funciona da seguinte forma: três satélites enviam o sinal para o receptor, que calcula quanto tempo cada sinal demorou a chegar nele. O encontro desses três sinais enviados cria um ponto a ser localizado, determinando a verdadeira posição do receptor de GPS.

A figura 15 apresenta a triangulação dos sinais emitidos pelos satélites. Assim, nota-se que um GPS pode medir as distâncias que separam três satélites e também ao mesmo tempo pode calcular as posições dos respectivos satélites. Processando essas informações, o GPS determina sua posição atual a cada segundo de tempo. Os receptores do GPS necessitam de no mínimo quatro satélites para computar uma posição 3D (latitude, longitude e altitude) e no mínimo três satélites para computar uma posição 2D (latitude e longitude) (FRIEDMANN, 2008).

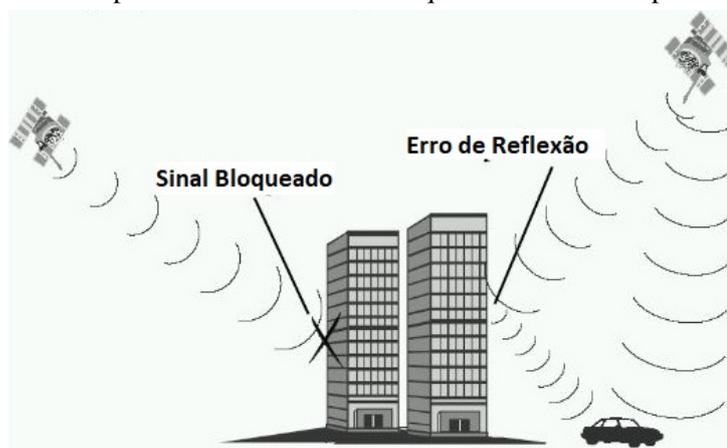
Figura 15: Triangulação dos sinais emitidos ao receptor de GPS.



Fonte: (PHILIPPE, 2014).

O sistema de GPS pode apresentar alguns erros, os quais podem ser relevantes dependendo da aplicação da informação. A exatidão da localização fornecida pelo GPS é de 4 a 6 metros, dependendo da fonte do erro. As principais fontes de erro são o bloqueio de sinais, a interferência de objetos e da ionosfera, devido a quantidade de satélites visíveis. O uso é recomendado apenas em lugares abertos, sem interferência de objetos e prédios, conforme figura 16 (UPADHYAY, 2019).

Figura 16: Principais erros e interferências que o sinal do GPS pode apresentar.



Fonte: (UPADHYAY, 2019).

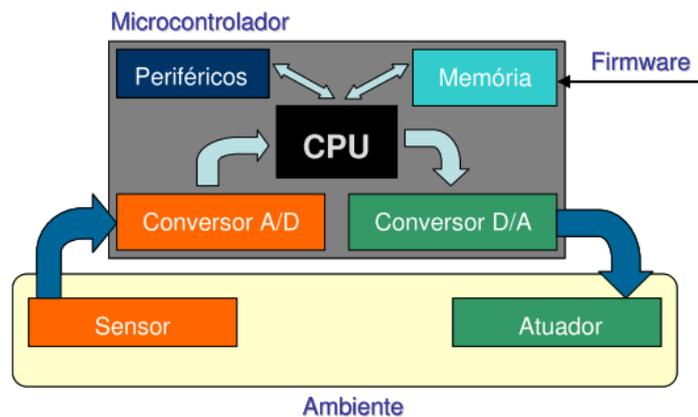
2.5 Sistemas Embarcados

A utilização dos dispositivos de localização e processamento são fundamentais para desenvolvimento da tecnologia. Com isso a necessidade de uso de processadores com sistema embarcado é inevitável.

Um sistema é classificado como embarcado quando este é dedicado a uma única tarefa e interage continuamente com o ambiente a sua volta por meio de sensores e atuadores (BALL, 2002). O nome recebido de “embarcado”, do inglês, *Embedded Systems*, é devido a estes sistemas serem projetados geralmente para atuarem independentes de uma fonte de energia fixa, como uma tomada ou um gerador. As principais características de classificação deste sistema são a sua capacidade computacional e a sua independência de operação. Outros aspectos relevantes dependem dos tipos de sistemas, modos de funcionamento e itens desejados em aplicações embarcadas (CHASE, 2007).

Existe a necessidade de um “cérebro” para processar todo o funcionamento deste sistema. Microprocessadores ou microcontroladores são as opções ideais para esta necessidade, pois ambos têm a capacidade de realizar a leitura de sinais externos (sensores), de executar tarefas, de processar os sinais e enviar para atuadores os resultados esperados (CHASE, 2007). A figura 17 apresenta o diagrama básico de um sistema embarcado controlando um ambiente.

Figura 17: Diagrama básico de um sistema embarcado com um microcontrolador.



Fonte: Adaptado de (CHASE, 2007).

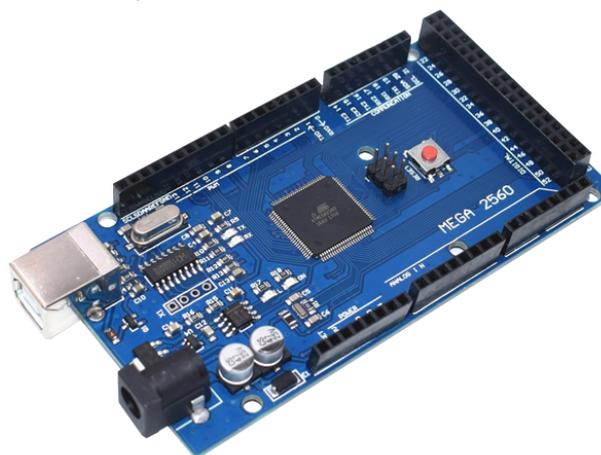
2.5.1 Microcontrolador

Um microcontrolador é basicamente um computador que contém um núcleo de processador, uma memória e periféricos programáveis de entrada e saída. Estes são processadores de *software* com uma sistemática muito semelhante à dos processadores embarcados, ou seja, incorporam muitas funções num único circuito integrado. Existem diversos tipos de microcontroladores no mercado. Alguns já são acoplados a placas com componentes que realizam alimen-

tação, programação e até a alguns periféricos. Existem também os modelos mais simples, cujo funcionamento está dependente da compra de sensores e atuadores externos (BRAGA, 2019).

Um dos microcontroladores mais conhecidos e usados no mundo é o Atmel. Este é amplamente utilizado nas plataformas de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única conhecido como Arduino. Segundo o próprio fabricante, a vantagem de usar essas placas é que pessoas sem conhecimento técnico aprofundado conseguem projetar sistemas complexos, sem a necessidade de tempo de aprendizagem e com a disponibilidade de bibliotecas e códigos livres (ARDUINO, 2019). As principais placas de mercado são Arduino UNO e MEGA (Fig. 18), apresentando diferenças na memória *flash* e na quantidade de entradas e saídas digitais/analógicas. A tabela 2 apresenta as principais características da placa Arduino MEGA.

Figura 18: Placa Arduino MEGA.



Fonte: Adaptado de (ARDUINO, 2019).

Tabela 2: Características da placa Arduino MEGA.

Tensão de entrada	7-12 V
Inputs/Outputs Digitais	54
PWM	15
Canais Serial	4
Memória Flash	256 kb
SRAM	8 kb
EEPROM	4 kb
Clock	16 MHz
Barramento SPI	1
Barramento I2C	1

Fonte: (ARDUINO, 2019).

2.6 Sensoriamento

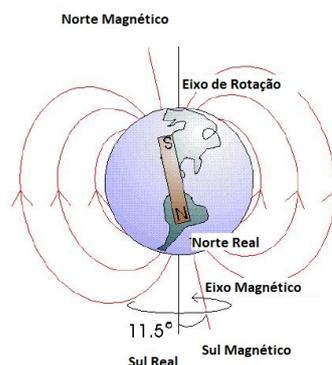
Sensor é um termo utilizado para designar dispositivos capazes de detectar ou captar elementos do ambiente na forma de energia luminosa, cinética ou térmica, bem como grandezas mensuráveis, tais como temperatura, corrente, aceleração, posição, entre outras (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011). No mundo da eletrônica, os sensores são a base de qualquer projeto, tendo a função de transmitir ou monitorar alguma informação necessária do ambiente para que os sistemas de controle realizem o processo ou ação desejada. Essas ações podem ser muito variadas. Um exemplo é ligar uma simples lâmpada quando o sensor medir a luminosidade do ambiente, informando quando estiver escuro.

O sensoriamento pode ser classificado em duas formas, analógico e digital. Os sensores analógicos podem apresentar qualquer valor no seu sinal de saída ao longo de um período de tempo. Nessa classe de sensores estão os mais conhecidos como de temperatura, velocidade, vazão, distância, entre outros. Nos sensores digitais, os dados lidos podem apresentar apenas dois valores no seu sinal de saída, que podem ser compreendido como zero e um. Esses valores são convertidos posteriormente pelo circuito eletrônico (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011). O principal sensor digital conhecido são os de detecção de passagem de objetos. É possível converter um sinal analógico em digital e vice-versa por meio de conversores A/D e D/A.

2.6.1 Magnetômetro

Magnetômetro é um instrumento utilizado para medir a intensidade, direção e sentido de campos magnéticos. Quando o instrumento está instalado em satélites, é possível o mapeamento do campo magnético da Terra em detalhes, pois o magnetômetro é muito sensível e pode indicar atividades iônicas no plasma ionosférico. Também conhecido como bússola magnética, a sua principal função é a orientação, principalmente em áreas abertas (SEMICONDUCTORS, 2019). A figura 19 ilustra o campo magnético da terra.

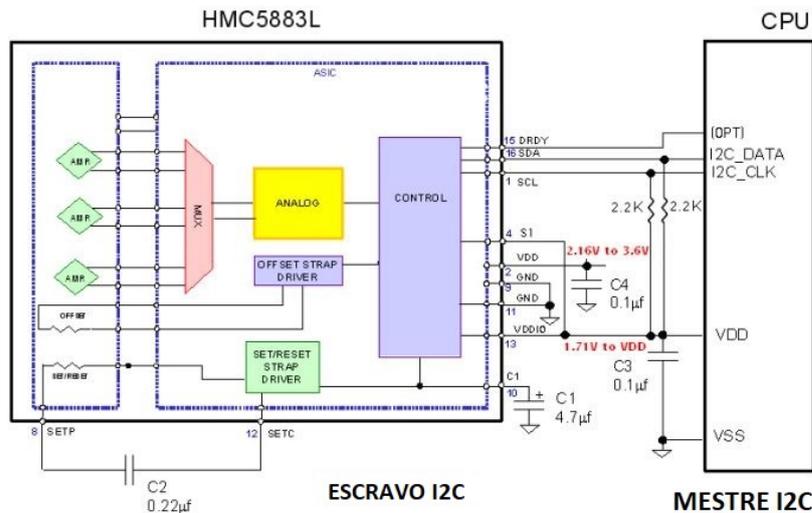
Figura 19: Campo Magnético da Terra.



Fonte: Adaptado de (SEMICONDUCTORS, 2019).

Existem diversos tipos de magnetômetros no mercado. O modelo HMC5883L, figura 20, utiliza uma tecnologia magnetorestiva anisotrópica, possuindo uma precisão de elevada linearidade. Este sensor mede a magnitude e a direção do campo magnético terrestre. O funcionamento básico do sensor é a leitura individual de cada eixo, convertendo sinal analógico em digital. Possui uma precisão de 2 graus e realiza medição através dos três eixos, fornecendo na saída informações sobre os eixos X, Y e Z. Possui interface de comunicação I2C (HONEYWELL, 2019).

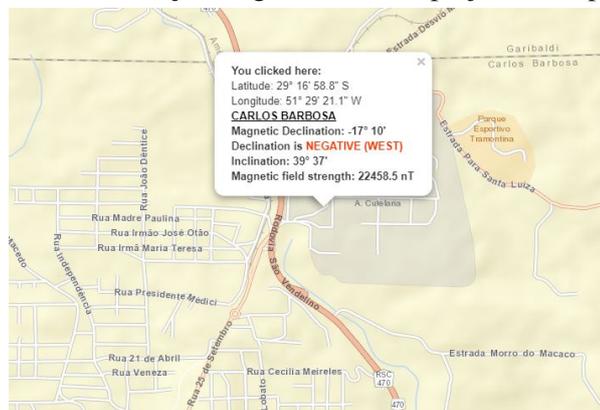
Figura 20: Diagrama de blocos do magnetômetro HMC5883L.



Fonte: Adaptado de (HONEYWELL, 2019).

É possível consultar a orientação magnética de qualquer localização do globo terrestre através do site www.magnetic-declination.com (Magnetic Declination, 2019). A figura 21 apresenta a orientação magnética na localização da empresa Tramontina, onde o projeto está sendo aplicado.

Figura 21: Orientação magnética onde o projeto será aplicado.



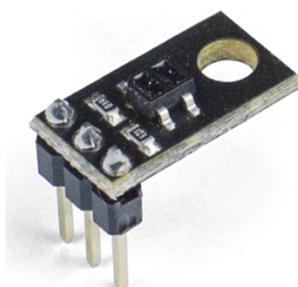
Fonte: Adaptado de (Magnetic Declination, 2019).

2.6.2 Sensor de Refletância

O sensor refletência é muito utilizado em aplicações nas quais é necessário identificar a variação da cor superfície em análise. Esse sensor é composto por duas partes, um LED infravermelho e um fototransistor sensível à luz infravermelha. O sensor infravermelho é um diodo que emite um raio modulado, o qual atinge um obstáculo e luz é refletida. Essa luz não é visível a olho nu e possui velocidade de resposta alta, embora tenha uma baixa sensibilidade (PSCHEIDT, 2007). Já o fototransistor é projetado para receber os sinais infravermelhos. São os transistores que são afetados quando a luz incide na sua junção.

Quando estes dispositivos estiverem apontando na mesma direção, surge o princípio da refletância. A refletância é quanto a radiação (ondas eletromagnéticas) de uma determinada superfície é capaz de refletir ao invés de absorver. Esta quantidade é geralmente dependente do tipo de material e da cor da superfície (BRAGA, 2019). O sensor funciona quando a luz do LED é refletida de volta para o fototransistor, variando a tensão da saída, diminuindo-a. Quanto maior a intensidade da luz infravermelha sentida pelo fototransistor, menor será a tensão de saída. Superfícies brancas refletem muito mais luz infravermelha do que pretas (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011). A figura 22 apresenta um exemplo de sensor de refletência muito utilizado em robôs seguidores de linha.

Figura 22: Exemplo de sensor de refletância QRE - analógico.



Fonte: Adaptado de (Robo Core, 2019).

2.6.3 Sensor Ultrassônico

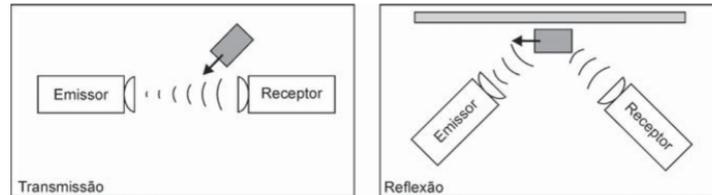
Os sensores ultrassônicos são dispositivos que emitem ondas de som audíveis, porém com frequências elevadas. Os sensores ultrassônicos têm cristais piezelétricos que emitem uma frequência desejada pelo sistema, realizando a conversão de energia elétrica em som (áudio). As ondas sonoras dos dispositivos são emitidas e refletidas na forma de um cone de um objeto, conforme a figura 23. Os objetos podem ter qualquer forma refletiva, até mesmo circular. Porém, deve-se ter atenção quanto às condições ambientais de temperatura e umidade (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

A temperatura pode influenciar o sensor conforme equação 2.1:

$$DA = 0,04826.d.\left(\frac{9}{5}^{\circ}C + 32\right) \quad (2.1)$$

Onde, DA é a distância aparente do objeto até o transdutor, d é a distância do transdutor até o objeto em milímetros e $^{\circ}C$ é o valor da temperatura ambiente.

Figura 23: Transmissor/receptor ultrassônico.



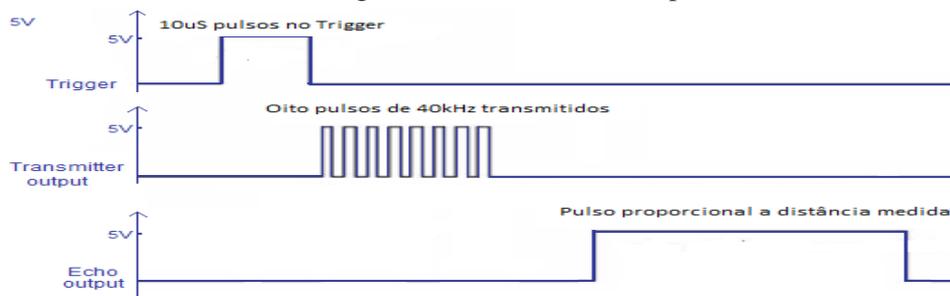
Fonte: Adaptado de (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

Comercialmente, encontra-se facilmente o sensor HC-SR04 ultrassônico, muito utilizado em equipamentos eletromecânicos. Nele há um circuito de controle, um transmissor e um receptor. Esse dispositivo pode realizar medições entre 20 mm até 5 m, com exatidão de 3 mm. O sensor HC-SR04 é constituído por 4 terminais, sendo dois deles de alimentação, o Trigger e o Echo. Para começar a medição, o Trigger deve receber um pulso de 5 V por pelo menos $10\mu s$, fazendo o sensor transmitir 8 ciclos de pulsos ultrassônicos a 40 kHz, e esperar pelo sinal refletido. Recebendo o sinal, o pino Echo será colocado em *high* e sofrerá um *delay* proporcional à distância medida (NAKATANI; NETO, 2014). A figura 24 apresenta os tempos dos sinais de acionamento do sensor. Para encontrar o valor da distância em centímetro, utiliza-se a equação 2.2 :

$$\text{Distância} = \frac{\text{tempo em HIGH} \cdot \text{velocidade do som}}{2} \quad (2.2)$$

Onde a velocidade do som é considerada 340 m/s.

Figura 24: Transmissor/receptor ultrassônico.



Fonte: Adaptado de (Circuitstoday, 2019).

2.6.4 Identificação por Rádio Frequência

RFID é um sistema que funciona através de ondas eletromagnéticas para monitorar, rastrear ou identificar objetos, pessoas e animais. O sistema RFID nasceu pouco antes da II Guerra Mundial, na qual países o utilizavam para distinguir suas próprias aeronaves dos aviões inimigos. Essa tecnologia tem como principal função comunicar os dados de identificação de algum elemento, tais como produtos, componentes, caixas, *pallets*, *containers*, veículos, pessoas, ativos, máquinas e serviços (CALDEIRA PEDROSO et al., 2009).

O sistema RFID é composto por três partes: leitor, *transponder* (conhecido como *tag*) e processador. O dispositivo de leitura é responsável pela emissão de um campo eletromagnético que alimenta o *transponder*. Este irá transmitir ao dispositivo de leitura o conteúdo dos dados. Os dados recebidos do *transponder* são encaminhados para o processador, onde é realizado o processamento de acordo com a aplicação. As aplicações são infinitas para essa tecnologia que vem sendo cada vez mais utilizada em ambiente industrial e automotivo (PEREIRA; SOUZA OLIVEIRA, 2006). A figura 25 apresenta a composição básica da tecnologia RFID.

Figura 25: Composição básica da tecnologia Identificação por Rádio Frequência.



Fonte: Adaptado de (PEREIRA; SOUZA OLIVEIRA, 2006).

O *transponder* é um elemento que armazena um dado, sendo 1 bit ou n bit. A *tag* funciona como uma identidade, porém faz uso de dispositivos eletrônicos (memória, processador e componentes passivos) para guardar a informação ou gerar um sinal. Existem diversos formatos de *transponder*, como cartões, pastilhas, chaveiros e argolas. Eles são classificados em duas formas:

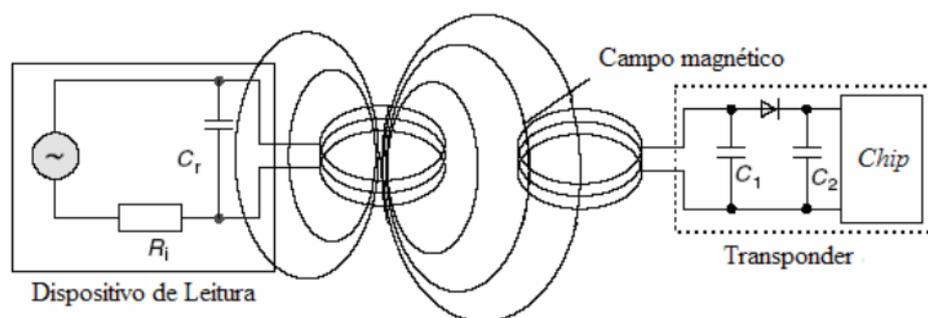
- Ativos: quando possuem fonte de alimentação própria;
- Passivos: quando a energia é proveniente do dispositivo de leitura para o seu funcionamento.

Os dispositivos de RFID também são classificados de acordo com a faixa de frequência em baixa frequência (30 kHz a 500 kHz) e alta frequência (850 MHz a 2,5 GHz). Os sistemas de baixa frequência são utilizados em controles de acesso ou identificação de objetos e os que operam com alta frequência (850 kHz a 2,5 GHz) normalmente são utilizados para identificação

de objetos em movimento e permitem distâncias de leitura classificadas entre média e longa distância (CABRAL RIBEIRO; BATALHA, 2007).

Existem diversas maneiras de realização da comunicação entre a *tag* e o dispositivo de leitura. Nos dispositivos que utilizam a tecnologia de 1 bit, as *tags* são passivas e apenas retornam informação de ativo ou não ativo. Estes são muito utilizados em sistemas não complexos, nos quais não é necessário a troca de informação ou dados. Nos sistemas n-bit, existe comunicação e transmissão de dados entre os dispositivos de leitura e os respectivos receptores. Tais sistemas podem ser passivos ou ativos, com a transmissão de informações entre eles podendo ser do tipo *full duplex*, *half duplex* ou sequencial. O acoplamento e a realização da comunicação pode ser feitos de diversas maneiras e com diversas tecnologias. Porém, a transmissão de dados entre a *tag* e a leitura ocorre através de campos magnéticos, conforme exemplificado na figura 26 (PEREIRA; SOUZA OLIVEIRA, 2006).

Figura 26: Sistema n-bit *transponder* por acoplamento indutivo.



Fonte: Adaptado de (PEREIRA; SOUZA OLIVEIRA, 2006).

2.7 Atuadores e Acionamentos

Atuadores são dispositivos que recebem um sinal proveniente do controlador e agem sobre o sistema. São sistemas que normalmente trabalham com elevada potência. Segue abaixo alguns exemplos de atuadores:

- Válvulas (pneumáticas, hidráulicas);
- Relés (estáticos, eletromecânicos);
- Cilindros (pneumáticos, hidráulicos, fusos);
- Motores (motor de passo, servo motores, indução);
- Solenoides.

2.7.1 Motor de Passo

O motor de passo é um dispositivo utilizado em diversos equipamentos devido à sua principal característica, converter pulsos elétricos em movimentos rotativos. As principais áreas de utilização são a informática e a robótica de alta precisão, pois são dispositivos rápidos e confiáveis. Devido ao seu sistema de passos, pode-se obter um controle muito preciso em determinadas aplicações da robótica, podendo se deslocar numa escala milimétrica (QUEIROZ, 2009).

Assim, um motor de passo é uma boa opção sempre que são necessários movimentos precisos. Eles podem ser usados em aplicações nas quais é importante controlar diversos fatores, tais como: ângulo de rotação, velocidade, posição e sincronismo. Escolhe-se motores de passo pela possibilidade de controlar movimentos com alta precisão, ao contrário da maioria dos outros motores elétricos nos quais os pontos fortes são torque e velocidade (SANTOS, 2008). A figura 27 apresenta um motor de passo de pequeno porte.

Figura 27: Motor de Passo NEMA.



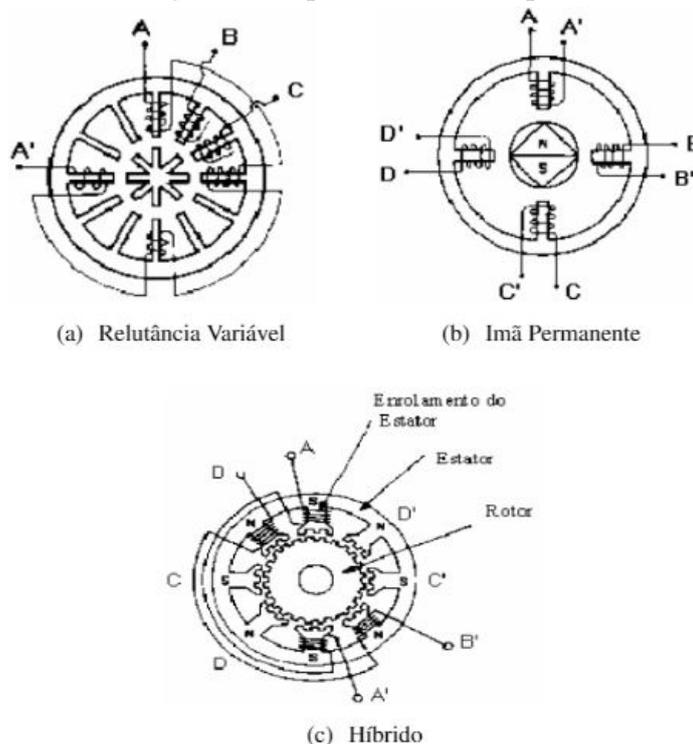
Fonte: Baú da Eletrônica (2019).

Existem três tipos de motores de passo. O de relutância variável, o ímã permanente e o híbrido. O modo de funcionamento destes é descrito abaixo:

- **Relutância Variável:** possui um rotor com várias polaridades que realizam operação com ângulos de passo de 5 a 15 graus. Na figura 28 (a), quando a fase A é energizada, quatro dentes de rotor se alinham com os quatro dentes do estator da fase A através de atração magnética. O próximo passo é dado quando a fase A é desligada e na fase B é energizada fazendo o rotor girar 15 graus à direita.
- **Ímã Permanente:** energizando as quatro fases em sequência, o rotor gira, pois é atraído aos polos magnéticos. O motor mostrado na figura 28 (b) dará um passo de 90 graus quando os enrolamentos ABCD forem energizados em sequência. Possuem ângulos de passo de 45 ou 90 graus, mas eles possuem elevado torque.

- Híbrido: tem alto torque e opera em velocidades de passo altas. Possui ângulos de passo que variam entre 0.9 e 5 graus. São providos de polos que são formados por dois enrolamentos, conforme figura 28 (c).

Figura 28: Tipos de motores de passo.



Fonte: Adaptado de (SANTOS, 2008).

Existem duas formas de operação dos motores de passo. A primeira é unipolar, na qual existem dois enrolamentos por fase, um para cada sentido de corrente. Neste é necessário que um polo magnético possa ser invertido sem comutar o sentido da corrente. Existem diversas formas para realizar o circuito de comutação, mas a mais simples é um transistor para cada enrolamento. A forma bipolar, por sua vez, possui apenas um enrolamento por fase. Para a inversão de um polo magnético, faz-se necessário a inversão de um enrolamento. Existem duas ligações por fase e nenhuma está ligada em comum (SANTOS, 2008).

O motor de passo se moverá em rotações específicas com um certo grau, calculado através da quantidade de pulsos. Existem basicamente dois tipos de incremento de rotação, o passo inteiro e o meio passo. A diferença entre os dois tipos é a quantidade de fase com a qual o motor será energizado. Sempre deve-se atentar à aplicação necessária para uso de cada modo, sendo que na função *meio passo* dobra a resolução da rotação, o que pode ser uma vantagem (QUEIROZ, 2009).

3 METODOLOGIA

Os conceitos apresentados até aqui proporcionam uma visão geral para o desenvolvimento do projeto proposto, uma vez que abordam a respeito da tecnologia já existente nos veículos elétricos, autônomos e os sistemas robotizados de locomoção. Neste capítulo será apresentado aspectos metodológicos para construção do projeto do VE de pequeno porte capaz de transportar pessoas dentro de um ambiente fabril, se locomovendo de forma autônoma nível 3 e guiado através de geoposicionamento com a tecnologia GPS. Para atingir o objetivo proposto, o sistema deve apresentar um menor custo comparado aos veículos automotivos e AGV's já encontrados no mercado, portanto alguns detalhes monetários serão rescritos para posterior discussão.

3.1 Funcionamento do veículo proposto

O VE foi projetado para se locomover de forma autônoma e será um produto comercializado pela empresa multinacional Tramontina Multi, sob a identificação neste trabalho de VEA. O veículo possui a capacidade de transportar pessoas se locomovendo sem a presença do motorista para executar uma determinada rota. No entanto, a locomoção do VA foi restrita ao ambiente delimitado da empresa e se deu através de rotas pré determinadas, utilizando a tecnologia GPS no ambiente externo e através de sensores de refletância que identificam diferentes cores de linha nos ambientes internos da empresa. A figura 29 apresenta o parque fabril da empresa Tramontina Multi em estudo.

Figura 29: Parque fabril da empresa Tramontina Multi onde foram realizadas os testes de locomoção do veículo



Fonte: Adaptado de (TRAMONTINA, 2019)

Utilizando a base do produto já existente da empresa, foram removidos dispositivos ma-

nuais, como direção, freios e acelerador. Após isso, foi criado um sistema elétrico através de sistemas embarcados, sensores e atuadores, os quais realizam ações e controlam o veículo eletronicamente, não necessitando a ação humana.

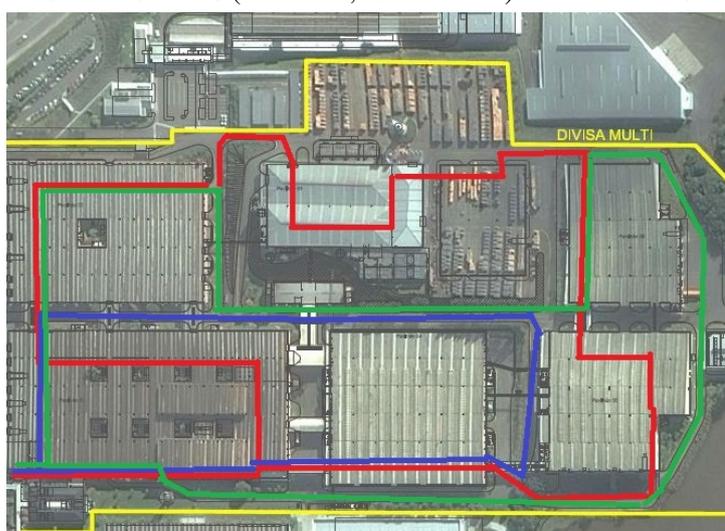
Além do sistema de segurança anticolisão para objetos e pessoas acionado através de sensores, foi inserido no veículo um comando manual para parar imediatamente o veículo quando usuário achar necessário. Assim, sob qualquer não conformidade com o objetivo traçado, o veículo realiza a parada até que o usuário execute uma nova ação. Isso preserva a segurança das pessoas em locomoção, uma vez que há o transporte de vidas humanas no projeto proposto.

O VA foi projetado com a capacidade de se locomover em diversos ambientes da empresa, pois um dos objetivos do desenvolvimento deste projeto é permitir à empresa deslocar material ou pessoas pelos seus oito pavilhões. Além disso, essa seria uma alternativa automatizada para proporcionar o deslocamento de clientes em uma visita ao parque fabril sem a necessidade de um motorista.

Foram criadas três rotas disponíveis ao usuário para percurso. A figura 30 apresenta o trajeto de cada uma das de três rotas que passam por diversos pavilhões da empresa e delimita a divisa do território da empresa com uma linha amarela. A distância de cada rota traçada foi:

- Rota 1 - Vermelha = 1,8 km;
- Rota 2 - Azul = 900 m;
- Rota 3 - Verde = 1,6 km.

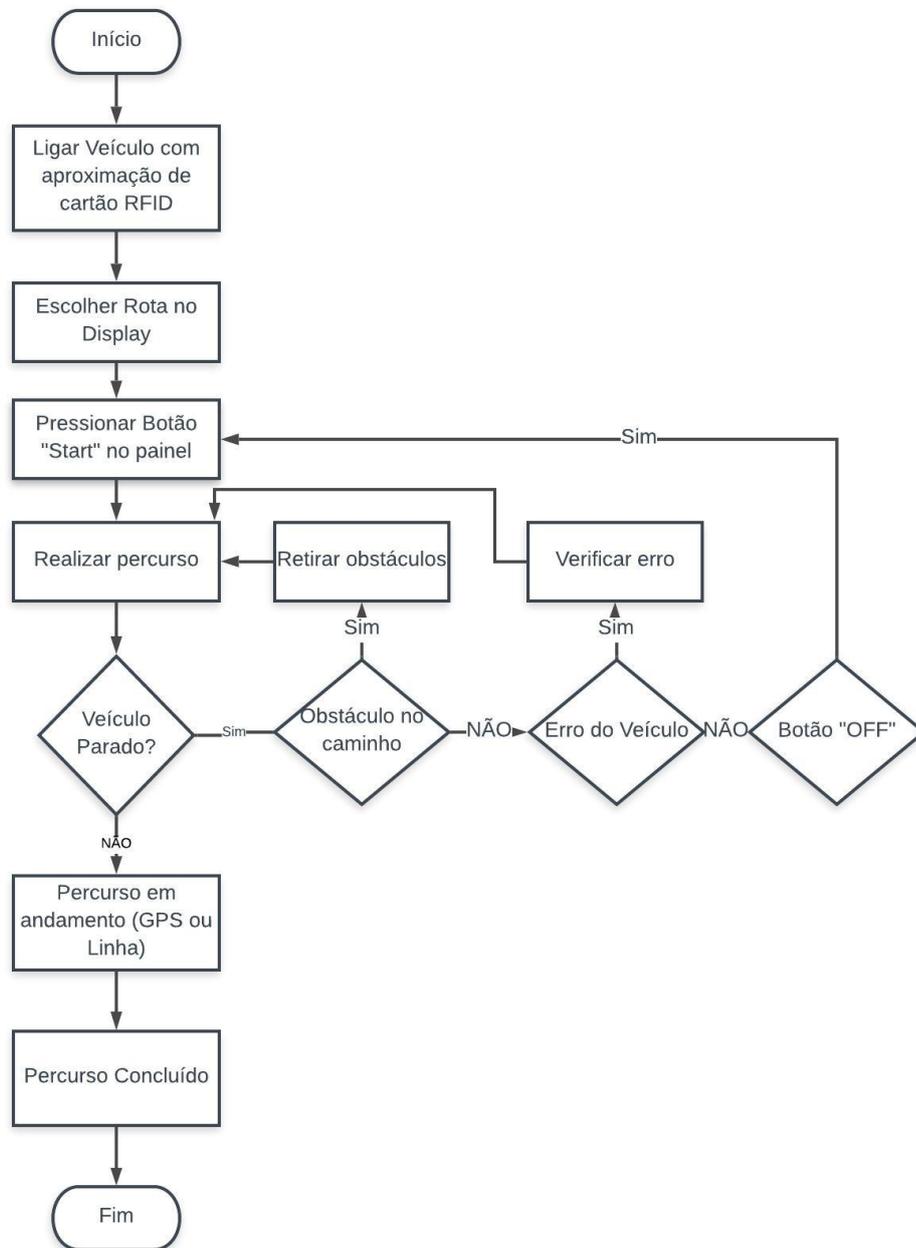
Figura 30: Rotas traçadas pelo VA na empresa Tramontina Multi. A linha amarela delimita a divisa do território da empresa. As demais linhas (vermelha, azul e verde) determinam as rotas traçadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 31 apresenta o fluxograma geral do funcionamento do projeto proposto. Nas próximas seções há a descrição detalhada das etapas para composição mecânica e elétrica do veículo.

Figura 31: Fluxograma de funcionamento do VE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

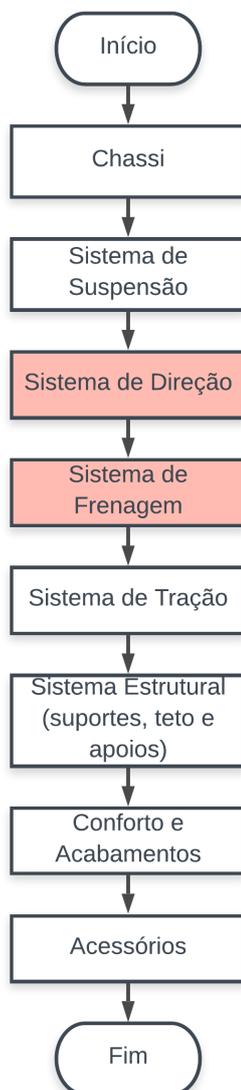
3.2 Sistema Mecânico do Veículo

O VE base deste estudo é um automóvel capaz de se locomover através de comandos realizados pelo usuário. A construção mecânica do veículo disponibilizado pela empresa Tramon-tina não foi modificada, porém se comunicará com dispositivos desenvolvidos neste projeto. A figura 32 apresenta o fluxograma da estrutura mecânica do veículo.

Para construção do protótipo, foram removidos o sistema de direção por volantes, o acele-

rador, os pedais de freio e freio de estacionamento, identificados na figura 32 na cor vermelha. Os sistemas mencionados passaram a serem projetados por dispositivos controlados eletronicamente, que estão apresentados na seção 3.3.

Figura 32: Fluxograma da estrutura mecânica do projeto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O VE da Tramontina foi projetado com diversos sistemas estruturais de diferentes composições. São eles:

- **Chassi** - Estrutura base do veículo, também conhecido como chassi do automóvel. Produzido em estrutura de alumínio com reforços em aço num sistema modular de fácil manutenção.
- **Sistema de suspensão** - Sistema composto pelos feches de mola, balanças, eixos e amortecedores.

- **Sistema de Direção** - Sistema composto por setor de direção, pontas de eixo, volante e rodas.
- **Sistema de Frenagem** - Sistema composto por conjunto de freio, tambor, espias, alavancas de acionamento e pedais.
- **Sistema de Tração** - Composto por motor elétrico e caixa de transmissão.
- **Sistema de Estrutural** - Sistema composto por todos os suportes, como dos bancos, teto, para-brisa, espelhos, entre outros.
- **Conforto e acabamento** - Inclui o acabamento do veículo, como perfis, tampas, isolamento e os assentos.
- **Acessórios** - Alguns acessórios são vendidos separadamente, como: *cooler*, capa de chuva, giro *flex*, cinto de segurança, entre outros.

Para uma posterior avaliação de custo, a tabela 3 apresenta o preço de cada sistema que foi desativado do veículo original.

Tabela 3: Custos dos sistemas mecânicos retirados do projeto original.

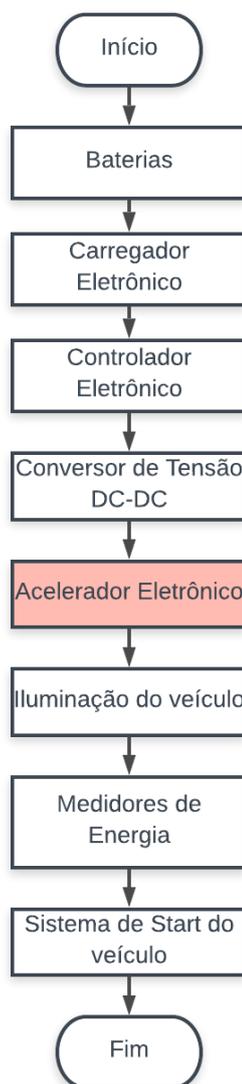
Sistema	R\$
Sistema de Direção	241,85
Pedal de Freio	185,09
Freio de Estacionamento	37,68

Fonte: (TRAMONTINA, 2019)

3.3 Sistema Elétrico do Veículo

Para realizar ações e comandos é necessária a existência de alguns dispositivos eletrônicos que possam realizar este controle. Sabe-se também que não importando a complexidade do veículo, sendo elétrico ou a combustão, sempre haverá sinais elétricos para executar uma determinada ação no automóvel. Neste sentido, a figura 33 apresenta o fluxograma geral dos dispositivos eletrônicos que o veículo atual da Tramontina possui para executar suas ações.

Figura 33: Fluxograma dos sistemas elétricos do veículo Tramontina.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As especificações de cada parte do sistema elétrico apresentado no fluxograma da figura 33 estão detalhadas abaixo:

- **Baterias** - Baterias ligadas em série, gerando tensão de alimentação total de 48 V. A energia necessária para controle e locomoção do veículo é oriunda das baterias.
- **Carregador eletrônico** - Dispositivos para recarregar a carga das baterias, com entrada de 220/127 V - 50/60 Hz e saída de 48V/18A. Uma carga completa do sistema necessita de aproximadamente 9 horas.
- **Controlador eletrônico** - Dispositivo eletrônico capaz de receber e emitir sinais elétricos de controle do veículo. O controlador é responsável por todas ações necessárias para o deslocamento, acionamento ou gerenciamento do veículo.

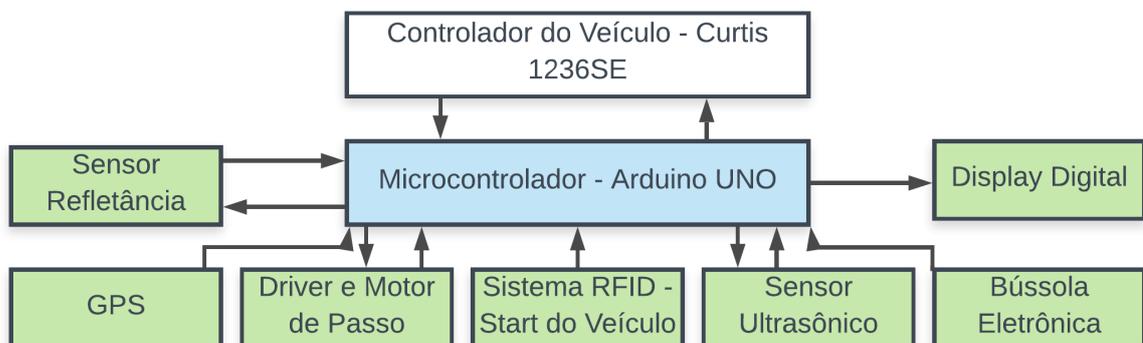
- **Conversor de tensão DC-DC** - Dispositivo capaz de converter tensão DC de 48 V para 12V/20A. Componente necessário para gerar energia aos sistemas de iluminação, buzina e tomadas USB do veículo.
- **Acelerador eletrônico** - Componente eletrônico capaz de fornecer tensão de 0 a 5 V ao controlador. Quando o usuário realiza o acionamento do pedal, os sinais elétricos são enviados ao controlador, realizando a ação necessária para deslocamento do veículo. Esse dispositivo foi desativado no projeto proposto.
- **Iluminação do veículo** - Abrange o sistema de iluminação, as tomadas USB (5 V) e a buzina do veículo. O não funcionamento desse sistema não afeta o funcionamento dos demais dispositivos de deslocamento.
- **Medidores de energia** - Medidor de carga analógico do banco de bateria de 48 V. Dispositivo importante para monitoramento do desempenho e autonomia do veículo.
- **Sistema de start** - Botões e chave analógicos para ligar o veículo.

O custo do sistema do acelerador eletrônico que foi desativado do sistema elétrico original é de R\$ 444,72.

3.4 Dispositivos eletrônicos para veículo elétrico autônomo

Para atender o objetivo de tornar o VA capaz de deslocar pessoas dentro do ambiente fabril, foi necessário desenvolver dispositivos eletrônicos que possuam comunicação com o controlador do veículo. Ao executar as ações de movimento do veículo, algumas etapas foram seguidas e alguns sinais elétricos atendidos. No diagrama de blocos da figura 34 estão apresentados os dispositivos e a comunicação existente entre si no projeto em desenvolvimento.

Figura 34: Diagrama de blocos do sistema.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.1 Microcontrolador - Arduino MEGA 2560

O VE original possuía um controlador de tração em sua configuração padrão. No entanto, no desenvolvimento do protótipo isso foi alterado utilizando um sistema embarcado com um kit de microcontrolador Arduino da série MEGA 2560. Este dispositivo recebe, envia e interpreta todos os comandos necessários para o veículo se locomover conforme proposta do projeto. Os dispositivos ligados neste controlador vão desde sensoriamento até dispositivos atuadores. A comunicação entre esses equipamentos é realizada através dos protocolos I2C, SPI, com entradas digitais e analógicas, dependendo da complexidade da informação e do dispositivo.

Na comunicação entre o microcontrolador MEGA e o controlador Curtis 1236SE não é necessária a utilização de nenhum protocolo de comunicação, uma vez que a única informação que é necessário enviar ao sistema de controle do veículo é um sinal analógico entre 0 e 5 V. As ações do veículo, bem como a tração, o controle de corrente, o torque, a aceleração e desaceleração são comandados pelo controlador 1236SE do próprio produto e não foram contemplados nesse projeto, pois não fazem parte do escopo do trabalho em estudo.

A alimentação do microcontrolador ocorre através do seu conector de fonte externa. A tensão é fornecida através conversor DC-DC, que transforma o banco de baterias 48 V para 12V/20A. O dispositivo já está contemplado no produto original e, portanto, não faz parte do escopo do projeto. Os dispositivos que funcionam em 12V são alimentados através do conversor e os que necessitam de 3,3 ou 5 V são alimentados através dos pinos do microcontrolador, conforme figura 35.

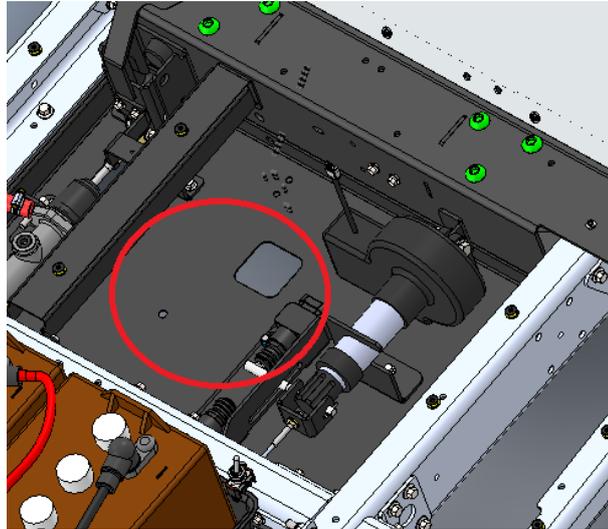
Figura 35: Conectores de alimentação do microcontrolador.



Fonte: Adaptado de SOUZA, 2013

O sistema projetado foi incorporado no veículo na região localizada abaixo do assoalho, onde há a central de controle composta por dispositivos eletrônicos, como: microcontrolador, GPS, *driver* do motor de passo e bússola. A figura 36 apresenta a localização do sistema incorporado no VE original.

Figura 36: Localização do sistema eletrônico projetado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.2 Sensor de refletância

O veículo foi projetado para percorrer ambientes internos da empresa, como corredores. Porém, devido à falta de exatidão do GPS, foi necessário desenvolver um sistema no qual o VEA pode se deslocar através de linha no piso. Para isso, o projeto utilizou cinco sensores de refletância, compostos de LED infravermelho emissor e receptor. Nos corredores da empresa foram fixadas fitas na cor branca, pelas quais foram criadas as rotas de locomoção do VEA. Uma vez que o corredor da empresa possui pintura na cor verde, a diferença foi facilmente identificada com a cor branca da linha criada. O sensor reflete ou não a cor observada. Ao passar pela linha branca, o sensor é refletido enviando, assim, um sinal digital ao microcontrolador. Através dos valores lidos, foi implementada a lógica de programação fazendo com que o veículo permanecesse seguindo a linha traçada no piso da empresa.

O sensor utilizado foi o fotoelétrico do fabricante SICK, modelo GRTE18S-P2347, conforme figura 37.

Figura 37: Sensor SICK, modelo GRTE18S-P2347.



Fonte: Adaptado de (SICK, 2019).

3.4.3 Bússola Eletrônica

O dispositivo conhecido como bússola eletrônica, cujo nome correto é magnetômetro, apresenta a capacidade de obter a sua orientação através do campo magnético da Terra. Neste projeto, foi utilizado o dispositivo HMC5883L, do fabricante Adafruit, conforme figura 38.

Figura 38: Bússola eletrônica (magnetômetro) modelo HMC5883L, fabricante Adafruit.



Fonte: Adaptado de (ADAFRUIT, 2019).

A bússola magnética envia informações das coordenadas X, Y e Z ao microcontrolador. Esses dados são fundamentais para o processador avaliar e interpretar a real posição e o ângulo nos quais o veículo se encontra. A lógica de programação utiliza essa informação, juntamente com a posição das coordenadas do GPS, para fazer o veículo se locomover na rota traçada. A biblioteca do fornecedor, *AdafruitHMC5883U.h* foi utilizada para configurar e realizar algoritmo de programação.

Porém, para haver exatidão na informação, se faz necessário afastar o sensor de qualquer elemento que possa gerar interferência magnética. Além disso, outro ponto crucial é incluir a informação da declinação magnética da região onde o projeto está sendo validado, com o objetivo de aumentar a precisão do dado lido. É possível obter essa informação através do site <http://www.magnetic-declination.com>.

3.4.4 Sensor ultrassônico

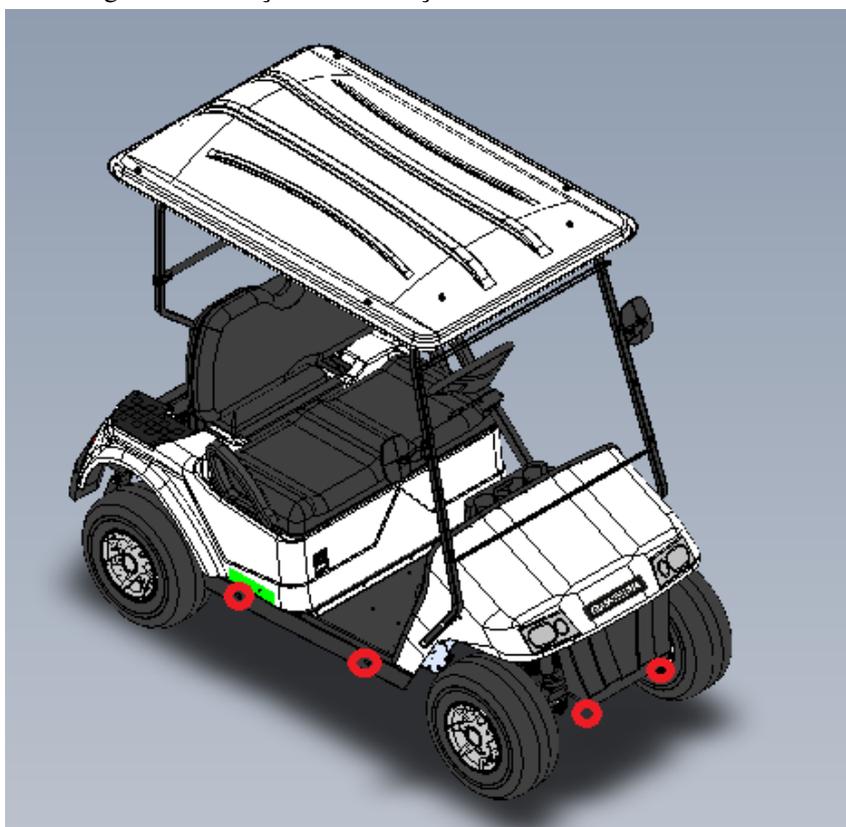
Foi protegida a mobilidade do veículo em casos de obstáculos ou perda da rota, a fim de aumentar aspectos de segurança do veículo. Para isso, foram instalados na sua parte frontal e lateral seis sensores ultrassônicos. Os sensores identificam a presença de algum objeto, pessoa ou possível colisão através da emissão de som ultrassom e de reflexão, processando e realizando o comando de parada do veículo.

O sensor utilizado foi o HC-SR04 que emite um sinal de 40 kHz, acima da capacidade de

audição do ouvido humano. A distância que será processada pelo microcontrolador a fim de emitir um sinal de parada do VEA é de aproximadamente dois metros em ambos os lados do veículo. O sinal de *trigger* de cada componente eletrônico ultrassônico possui emissões de som em tempos diferentes, isso devido ao possível conflito de sinais oriundos dos demais sensores instalados do projeto.

A figura 39 identifica em vermelho as posições nas quais foram instalados os sensores para identificar aproximação de objetos ao veículo, com objetivo de garantir a segurança dos usuários.

Figura 39: Posição de instalação dos sensores ultrassônicos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.5 Sistema RFID

Com objetivo de aprimorar o sistema de ignição e permitir o uso do veículo somente por pessoas habilitadas, o sistema possui um leitor RFID para ligar o produto e dar início à locomoção autônoma. O kit de leitura utilizado foi o RFID-RC522 da empresa NXP. Este pode ser usado em comunicações numa frequência de 13,56 MHz, permitindo, por exemplo, que sem contato seja realizada a leitura e escrita em cartões que seguem o padrão *Mifare*. A figura 40 apresenta o kit instalado no projeto.

Figura 40: Módulo RFID MFRC522 Mifare.

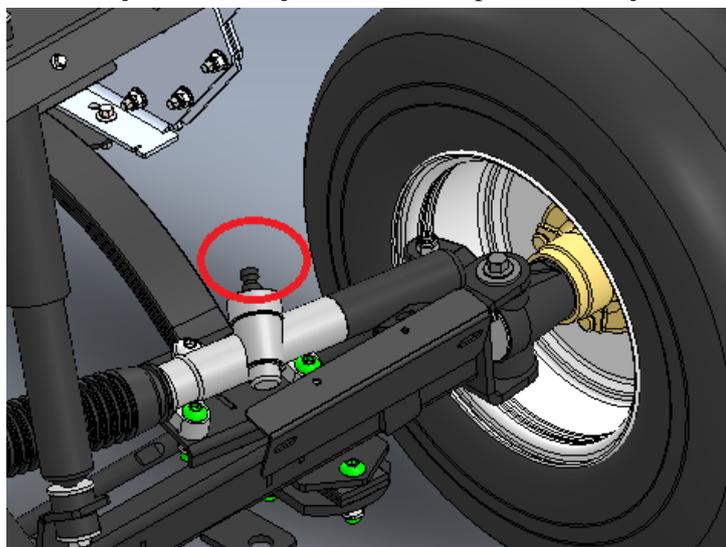


Fonte: Adaptado de (FILIPEFLOP, 2019).

3.4.6 *Driver* e motor de passo

A realização da direção do veículo é através de motor de passo instalado no setor de direção do veículo original, conforme identificação vermelha na figura 41. Nesse sentido, o microcontrolador interpreta os dados recebidos e determina a direção do veículo, realizando comandos ao motor de passo, como virar para esquerda ou direita.

Figura 41: Posição de instalação do motor de passo na direção do veículo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi utilizado o motor de passo NEMA34, código WS34-1200-55-4, com torque de 120 kgf.cm e corrente de fase de 5,5 A. Seu ângulo de passo é de 1,8° com uma precisão angular de +/-5%. Para realizar o controle do motor de passo, sentido de rotação e torque aplicado foi utilizado o *driver* WD-72. A figura 42 apresenta o *driver* do projeto do veículo.

Figura 42: Driver WD-72.



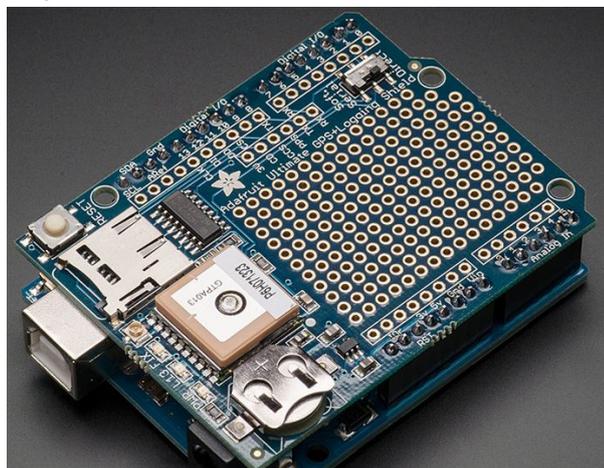
Fonte: Adaptado de (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2019).

3.4.7 Sistema de posicionamento global

Além da opção do veículo ser guiado através da identificação de cores, há a opção de locomoção por GPS, sendo esta prioritária. O VEA foi projetado para se deslocar sempre através da rota traçada pelas coordenadas geográficas, obtidas através do módulo GPS. Somente caso a informação obtenha interferência, como ocorre em lugares fechados, o veículo passará a se locomover através dos seus sensores de refletância.

O *shield* responsável por obter as informações de geoposicionamento é o *Adafruit Ultimate GPS Logger Shield*. O módulo de GPS utilizado nessa plataforma é o PA6H. Em suas características, possui antena de patch interno + conector u.FL para antena ativa externa, *slot* de cartão Micro SD para registro de dados em um cartão removível e sensibilidade de -165 dBm, com atualizações de 10 Hz e 66 canais. Esse módulo foi instalado na parte superior do microcontrolador MEGA do projeto do veículo. A figura 43 apresenta o módulo *Adafruit Ultimate GPS Shield*.

Figura 43: Módulo Adafruit Ultimate GPS Shield.



Fonte: Adaptado de (ADAFRUIT, 2019)

Inicialmente foram coletadas todas as coordenadas das rotas desejadas para o projeto. Esses pontos são armazenados na memória do microcontrolador e requisitados quando a rota é traçada. Assim, ao selecionar uma rota na interface homem-máquina (IHM), o microcontrolador interpreta os pontos setados para a rota desejada e dá início ao seu percurso, seguindo ponto a ponto. A lógica entende que o ponto traçado foi atendido, desde que o GPS envie a localização e esteja a menos de 5 metros, erro aceitável pelo módulo. Após a primeira posição atendida, o sistema passa à percorrer até encontrar o próximo ponto geográfico setado na rota.

3.4.8 *Display* digital

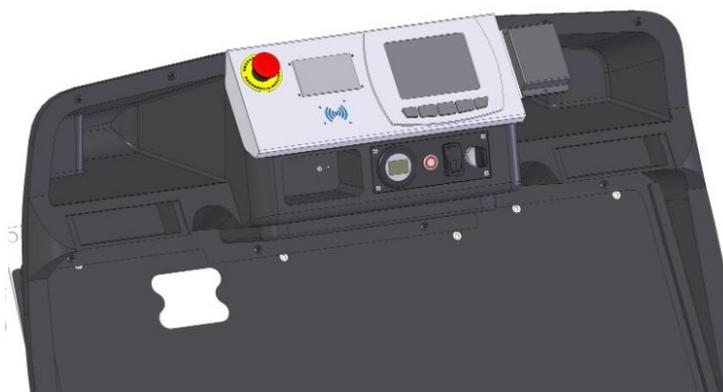
Para interfacear o sistema projetado do veículo com o usuário, foi utilizado uma IHM integrada que fornece uma interface de controle e visualização entre o usuário e veículo. Foi utilizado o modelo NX 4832T035_011R com tela sensível ao toque com resolução de 480 x 320 pixels, fabricado pela marca *Nextion*. A figura 44 apresenta a IHM do VEA e a figura 45 ilustra como ficou o painel do VEA com os dispositivos de controle pelo usuário.

Figura 44: IHM Nextion, modelo NX4832T035_011R.



Fonte: Adaptado de (NEXTION, 2019).

Figura 45: Ilustração do painel com a IHM e os dispositivos de controle pelo usuário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os comandos disponíveis ao usuário na IHM são as coordenadas geográficas atualizadas através da informação do GPS e os botões para iniciar rota e selecionar qual rota traçada deseja percorrer. Há ainda um botão de parada via IHM. Esse também pode ser acionado fisicamente em qualquer emergência, desligando o veículo por completo.

3.5 Custos do projeto

Nessa seção serão apresentados os custos de cada dispositivo eletrônico incorporado ao projeto do VA, juntamente com os custos dos sistemas retirados do produto original produzido pela Tramontina. Na avaliação realizada não estão sendo considerados os impostos submetidos ao produto.

A empresa Tramontina Multi S.A comercializa diversos modelos de veículo elétrico de golfe, com tamanhos P, M e G. Nessas variações, o cliente pode adquirir acessórios para aprimorar o veículo, como bancos, suporte para bolsas de tacos, toldos, *cooler*, entre outros. O veículo base utilizado para estudo neste projeto é o tamanho P, com capacidade de transporte de duas pessoas, mais os acessórios. Essa configuração está sendo vendida ao preço de R\$40.500,00, na data de 01/05/2019.

A tabela 4 apresenta os custos que serão economizados no projeto em desenvolvimento.

Tabela 4: Custos dos sistemas retirados do projeto original.

Sistema	Custo (R\$)
Sistema de Direção	241,85
Pedal de Freio	185,09
Freio de Estacionamento	37,68
Acelerador Eletrônico	444,72
Custo Total	909,34

Fonte: (TRAMONTINA, 2019)

A tabela 5 apresenta os custos dos dispositivos e materiais necessários para o projeto do VEA. Não estão inclusos os custos de frete em cada componente.

Com todo o desenvolvimento eletrônico e projeto, o VA tem custo estimado de R\$ 44.458,32, possuindo um preço de venda 9,77% maior que o atual praticado pela empresa (TRAMONTINA, 2019). Percebe-se então que com um custo baixíssimo foi possível aprimorar o VE, apresentando aos usuários a possibilidade de se locomover por rotas pré traçadas sem a necessidade de ação humana. Ressalta-se que o cálculo do preço é realizado conforme padrão utilizado na empresa e que, por questões de confidencialidade, não pode ser divulgado. Na seção de Resultados essa questão será abordada novamente e será discutida a viabilidade dos custos comparados com dispositivos AGV's e veículos automotivos autônomos de características próximas ao desenvolvido neste projeto.

Tabela 5: Custos dos sistemas adicionados no projeto.

Sistema/Dispositivo	Custo (R\$)
Microcontrolador Arduino Mega	94,90
Sensor Refletância/Infravermelho	750,00
Bússola Eletrônica	35,90
Sensores Ultrassônico	24,00
Leitor RFID	21,51
Motor de Passo NEMA 34	550,00
Driver de Motor de Passo	453,50
GPS	300,89
IHM Nextion	91,95
Condutores	120,00
Filtro RC	55,00
Botões/Suportes/Dispositivos	300,00
Custo Total	1.979,15

Fonte: (ADAFRUIT, 2019) (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2019) (TRAMONTINA, 2019) (FILIFELOP, 2019).

3.6 Validação do Projeto

A fim de validar o projeto proposto do VEA, foi necessário estabelecer objetivos específicos para avaliar seu funcionamento. Para isso, inicialmente foi desenvolvido alguns testes práticos de funcionamento em protótipo modular, simulando um veículo. Nessa fase foram testados e validados os dados em etapas separadas, como: seguidor de linha, rotas por GPS e a segurança através dos sensores de ultrassom. Após aprovação nas etapas individuais, foi avaliado o projeto unificado e montado o VE da Tramontina atualmente comercializado.

O veículo foi projetado e desenvolvido na fábrica 6 da Tramontina, pois é nessa fábrica que são constituídas as linhas de montagem dos veículos elétricos da empresa. Os testes de funcionalidade e validação do projeto foram realizados através de uma parte da rota 3 (verde). Nessa rota há um trecho de locomoção interna nos pavilhões, bem como área externa. Assim, há situações nas quais foi necessário o uso de linhas para guiar o veículo, bem como situações nas quais o VEA se locomoveu guiado por sistema GPS e magnetômetro. Todos os testes foram realizados nas dependências da empresa. A movimentação do veículo ocorreu por comando através da IHM do projeto, na qual o usuário realizou as operações de ligar o veículo, escolher a rota e parar a qualquer momento do percurso selecionado.

Para validar projeto, o veículo deveria atender aos seguintes requisitos:

- a) Percorrer um percurso de 40 metros em ambiente interno da empresa, pelos corredores da fábrica 6;
- b) Ao percorrer os corredores interno, o veículo não pode desviar as rotas traçadas no piso;
- c) Locomover-se em um percurso de no mínimo 200 metros em ambiente externo através das ruas da empresa;

- d) Ter exatidão menor que 6 metros de distância da rota projetada em ambiente externo;
- e) Ao observar algum obstáculo, o veículo deve parar em até 2 segundos;
- f) O VEA não pode se deslocar caso não haja algum comando realizado pelo usuário;
- g) Deve possuir um preço de venda inferior aos produtos de mesmo segmento e característica do mercado;

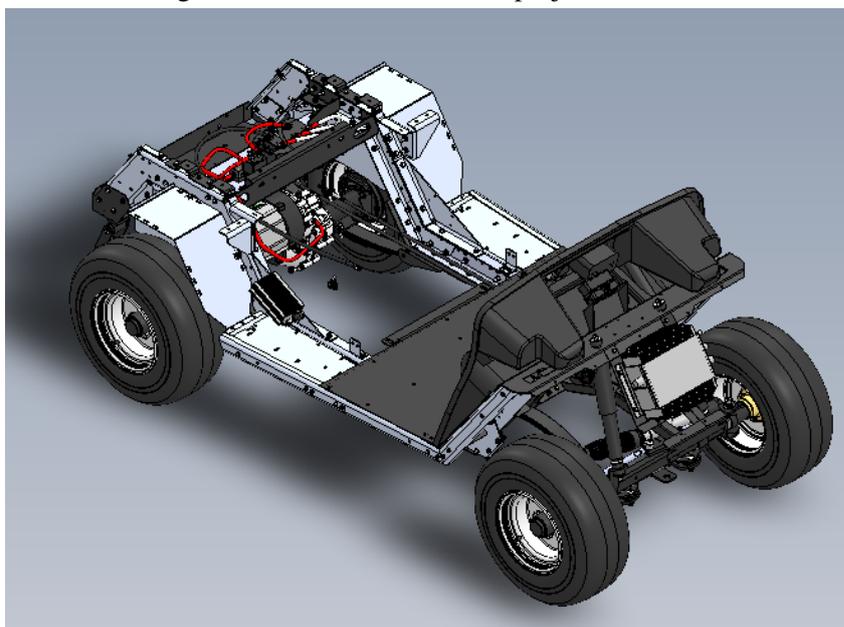
4 PROJETO

Nesta etapa serão descritas as atividades desenvolvidas para elaboração do projeto eletrônico do VEA. Devido à utilização de um produto já comercializado pela fabricante Tramontina como base, o projeto mecânico não faz parte deste escopo. Além disso, alguns pontos do projeto eletrônico e mecânico não serão apresentados nesta seção por questões de confidencialidade, pois são informações que permitiriam a replicação por fabricantes do mesmo segmento de veículos elétricos.

4.1 *Hardware mecânico*

O projeto do *hardware* mecânico conduzido pela empresa Tramontina foi utilizado como base do projeto em desenvolvimento do VEA. Os sistemas mantidos sem alteração foram: o sistema de chassi, a suspensão, a tração e as baterias. A figura 46 apresenta o chassi do VE projetado pela Tramontina e utilizado no desenvolvimento do VEA.

Figura 46: Chassi utilizado no projeto do VEA.

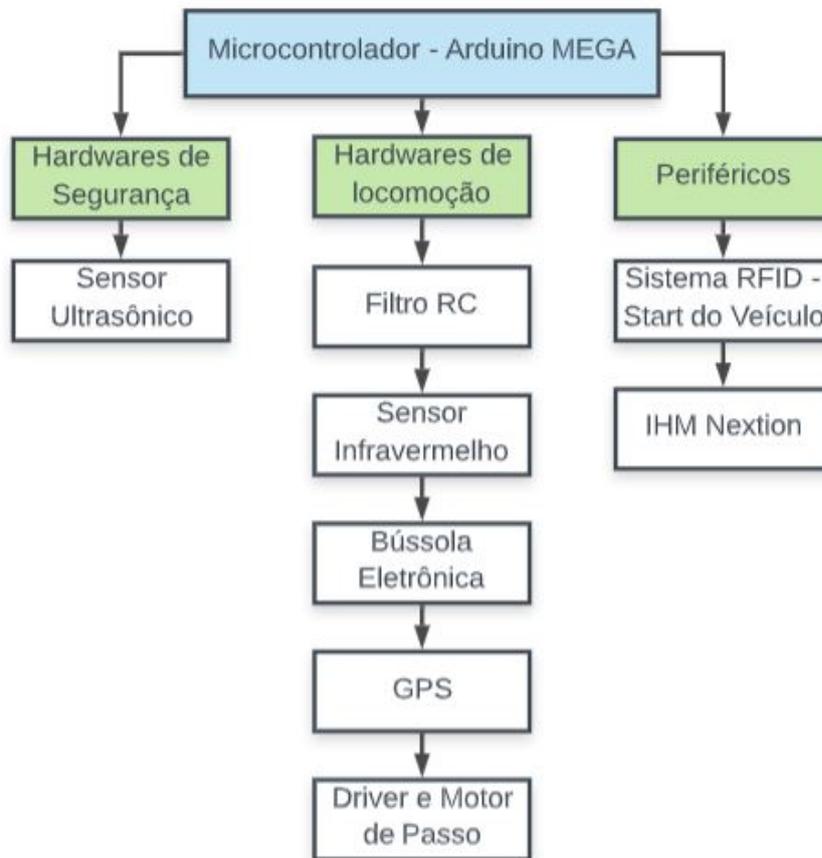


Fonte: (TRAMONTINA, 2019)

4.2 *Hardware eletroeletrônico*

Nessa seção serão apresentadas as etapas do desenvolvimento do projeto dos componentes eletroeletrônicos e respectivas comunicações entre *hardwares*, baseado na metodologia descrita na seção anterior 3. O sistema projetado está dividido em dispositivos de segurança, locomoção e periféricos, conforme ilustrado no diagrama de blocos da figura 47.

Figura 47: Diagrama de blocos do sistema de hardwares projetado



Fonte: Elaborado pelo autor.

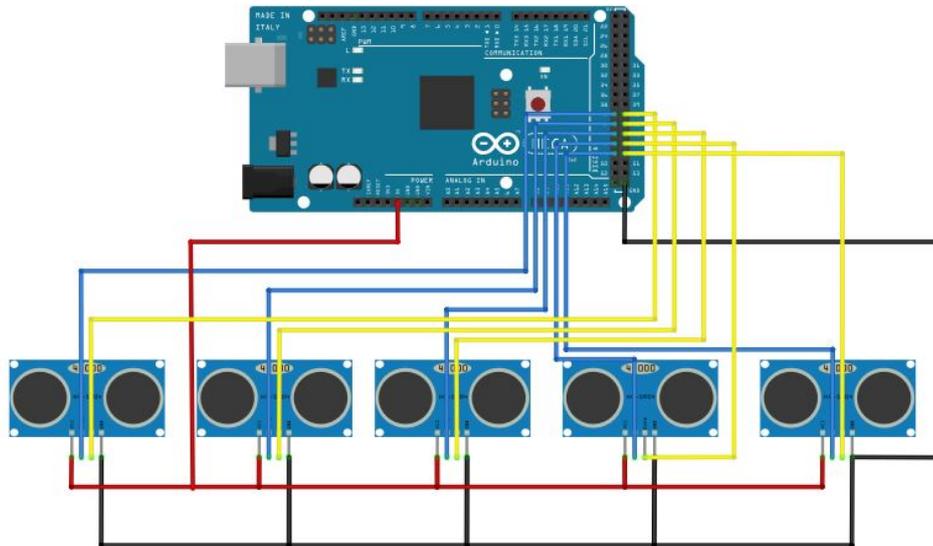
Os *hardwares* apresentados comunicam-se diretamente com o microcontrolador Arduino Mega, cuja função é agir como um "cérebro" do sistema, recebendo e interpretando os comandos do veículo. O projeto possui protocolos de comunicação I2C, SPI, serial, saídas digitais e analógicas. Nas subseções seguintes será explorado o projeto de comunicação de cada dispositivos com o microcontrolador, bem como as posições de montagens, cabeamento e terminais de comunicação.

4.2.1 Sensor ultrassônico

Os *hardwares* necessários para garantir a segurança dos usuários, evitando acidentes durante o percurso, são os sensores de presença. Neste projeto, foram utilizados cinco sensores ultrassônicos HC-SR04 que identificam a presença de pessoas e objetos dentro do seu campo de visão. Os sensores estão conectados no microcontrolador Mega através das entradas digitais D40 até D49, com alimentação de 5 V e conectados no barramento desenvolvido no VE. A figura 48 apresenta o esquema de ligação os sensores de ultrassom no projeto do VEA.

Os sensores possuem operação independente, ou seja, caso um sensor falhe, os demais

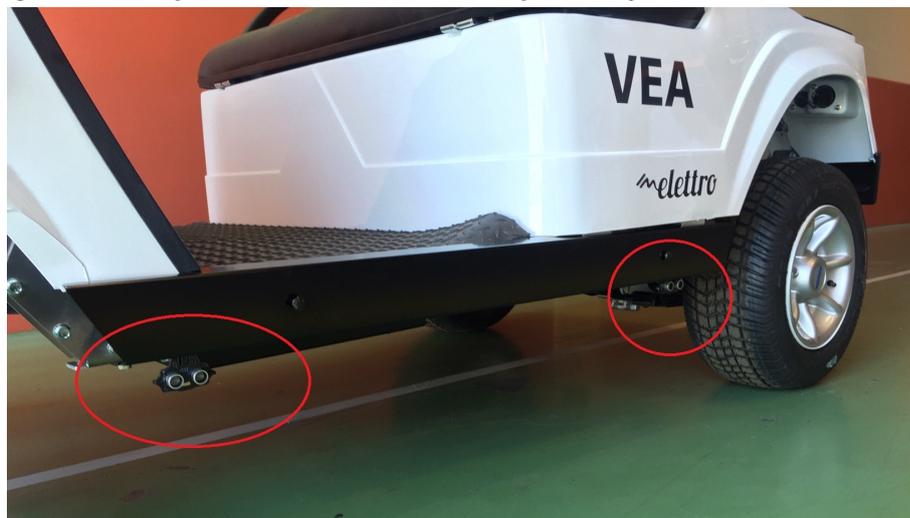
Figura 48: Esquema de ligação dos sensores ultrassom HC-SR04 no microcontrolador.



Fonte: Elaborado pelo autor.

continuam operando o sistema. O sensor frontal está programado para que, ao identificar objetos a uma distância inferior a dois metros, possa enviar um comando ao controlador, realizando uma parada do veículo. Os sensores laterais, por sua vez, foram programados para identificação de objetos a uma distância inferior a 70 centímetros. A figura 49 apresenta a instalação dos dispositivos ultrassônicos no VE da Tramontina.

Figura 49: Fixação dos sensores de identificação de objetos ultrassônicos no VE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.2 Filtro passa baixo (RC)

Durante o projeto, um problema foi encontrado na comunicação da informação para acionamento do motor. A velocidade do veículo é controlada por um sinal analógico de 0 a 5 V enviado para o controlador *Curtis* instalado no veículo da Tramontina. No entanto, o microcontrolador Arduino Mega não possui saídas analógicas, sendo possível enviar apenas um sinal de saída de modulação de largura de pulso (PWM)). Quando o sinal era enviado ao controlador do veículo, o mesmo apresentava um erro que impossibilitava a locomoção.

Porém, com um sinal PWM e um filtro RC é possível converter um valor digital em analógico. O valor correspondente à tensão desejada é escrito no registrador do PWM, o qual gerará uma onda com *duty-cycle* (fração de tempo) correspondente ao valor. O filtro RC converterá a onda quadrada do PWM em uma tensão analógica aproximadamente proporcional ao *duty-cycle* do PWM.

Dessa forma, foi incorporado no projeto o módulo conversor de tensão PWM LC-LM358-PWM2V, que converte um sinal PWM digital de 5V para sinal analógico 0-10 V. Esse módulo trata-se de um filtro RC. O terminal do microcontrolador D5 foi conectado na entrada PWM do módulo e a saída analógica no terminal de entrada J-17 do controlador Curtis 1232SE. A figura 50 ilustra o módulo inserido no projeto do VEA necessário para geração de um sinal analógico.

Figura 50: Módulo conversor de tensão PWM para analógico.



Fonte: Adaptado de (M1 Automação, 2019).

4.2.3 Sensor infravermelho - seguidor de linha

Inicialmente foi projetado e instalado no VE dois sensores infravermelhos *MH-Sensor-Series Flying-Fish* para identificar as cores das linhas e piso do ambiente industrial. Devido às dificuldades na iluminação do ambiente, qualquer mudança de claridade fazia com que o sensor não respondesse corretamente. Assim, foram utilizados sensores infravermelho industriais SICK GRTE18S-P2347, com uma sensibilidade e grau de confiabilidade superior aos primeiros testados.

Para um controle mais exato do veículo, foram instalados cinco sensores infravermelho na parte frontal, conforme figura 51, a fim de criar um controle via *software* proporcional ao da direção do carro em projeto. Estes foram fixados a 60 mm de distância do solo e espaçados igualmente em 35 mm.

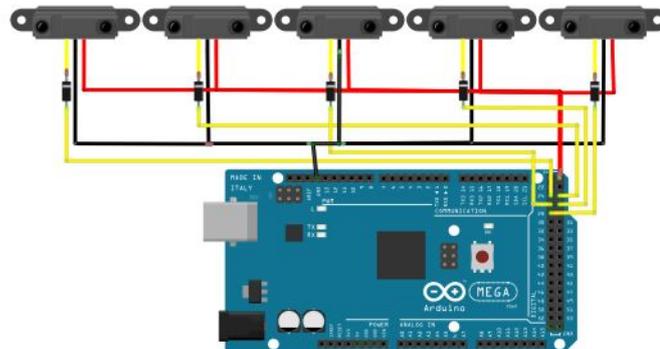
Figura 51: Instalação dos sensores infravermelho na parte frontal do veículo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os sensores foram conectados ao microcontrolador através dos terminais D24, D25, D26, D27 e D28. Para a alimentação dos sensores foi utilizado o barramento desenvolvido no veículo de 12 V. No entanto, o microcontrolador não pode receber alimentação em suas entradas digitais superiores a 5 V. Então, foi necessário incluir no projeto cinco diodos 1N4148 com o objetivo de regular o sinal de entrada inferior a 5V e configurar as entradas digitais do microcontrolador como pull-up. A figura 52 apresenta o esquema de ligação dos sensores infravermelho no Arduino Mega.

Figura 52: Esquema de ligação dos sensores infravermelhos (imagem do sensor meramente ilustrativa).



Fonte: Elaborado pelo autor.

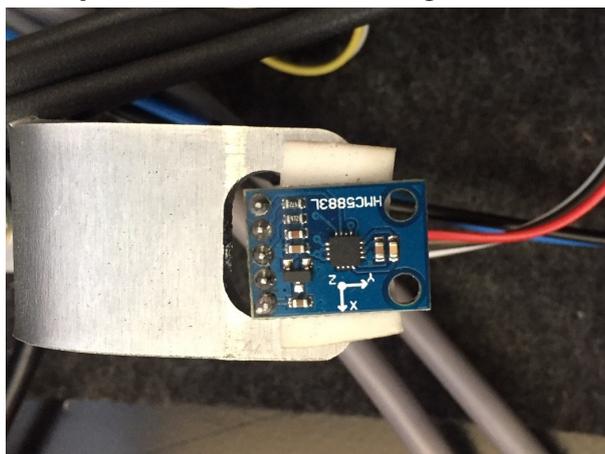
4.2.4 Bússola Eletrônica

Para o desenvolvimento das rotas de trajeto e localização do veículo foi instalado no VEA a bússola eletrônica ou magnetômetro. Esse dispositivo fornece informações de coordenadas X, Y e Z ao *software*, possibilitando a obtenção da orientação do veículo em graus, baseado no magnetismo da terra.

A comunicação desse dispositivo com o microcontrolador se deu com o protocolo de comunicação I2C, através do endereço de *hardware* hexadecimal 0X27 e pinos do Arduino Mega SCL (D21) e SDA (D20).

Devido à interferência magnética dos dispositivos do veículo, como motores e ímãs, o magnetômetro foi instalado na região mais afastada destes componentes, estando localizado na região central, próximo a parte inferior do veículo. A figura 53 apresenta a instalação do dispositivo no VEA.

Figura 53: Instalação da bússola eletrônica (magnetômetro) na base do VE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.5 Módulo GPS

Além do trajeto do veículo ser guiado por identificação de cores no piso, este projeto apresenta um diferencial de mercado, pois o VEA pode ser guiado também através de rotas via coordenadas geográficas. Para isso, foi acoplado ao microcontrolador Arduino Mega um *shield* GPS *Adafruit Ultimate*. A comunicação do dispositivo foi realizada através das entradas digitais RX1 (D19) e TX1 (D18) do microcontrolador utilizando protocolo de comunicação serial para transferência de dados. O *hardware* do GPS envia, via comunicação serial, as coordenadas geográficas de latitude e longitude a cada um segundo ao processador para ser interpretado. Como todo o sistema de controle foi instalado sob o piso do veículo, o GPS não captou sinal. Dessa forma, foi instalada uma antena externa para comunicação com *shield*. A antena externa está localizada no teto do veículo, obtendo um sinal sem interferências, conforme figura 54.

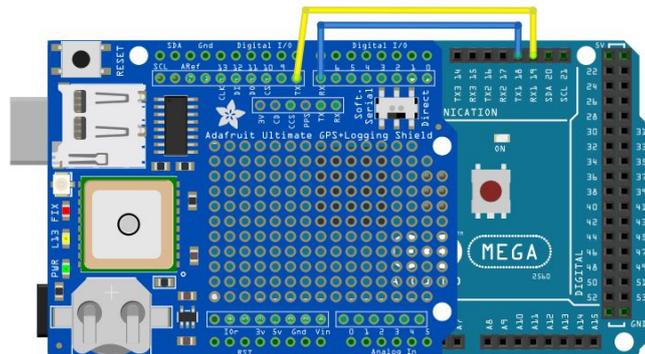
Figura 54: Instalação da antena externa do GPS no teto do veículo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 55 apresenta o esquema elétrico do *shield* GPS acoplado no microcontrolador Arduino Mega.

Figura 55: Esquema elétrico do shield GPS acoplado no microcontrolador.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.6 Motor de passo

O motor de passo permitiu substituir a direção mecânica do veículo base por um sistema elétrico no projeto. Neste, um comando do microcontrolador direciona o veículo para uma direção específica. Para realizar os passos do motor, o *driver* foi o dispositivo responsável por executar os acionamentos das bobinas. O sistema foi configurado para operar de forma que a cada volta seja executado 8.000 passos e corrente de 5.83 A.

Nesta configuração, o microcontrolador realiza comandos ao *driver* para executar a ação de rotação através das saídas digitais D2 (Direção), D3 (Pulso) e D4 (Habilitado). A alimentação é realizada através do banco de baterias do veículo com tensão de 48 V, pois o *driver* trabalha com tensões entre 24 e 80 V DC. A figura 56 apresenta a montagem do motor de passo no VE.

Figura 56: Montagem e fixação do motor de passo no setor de direção do VE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.7 RFID - *start* do veículo

O sistema RFID é um periférico adicional ao grande projeto do VEA. Esse sistema foi projetado e desenvolvido para ser utilizado junto com o grande sistema, sendo esta uma solicitação de diversos clientes da Tramontina. Para obter uma maior segurança ao veículo, apenas pessoas habilitadas podem utilizar e operar o produto. A fim de garantir essa possibilidade, foi instalado o leitor RFID de frequência 13,56 MHz, que garante a operação do sistema apenas a cartões identificados pelo RFID. Foram utilizados os mesmos cartões existentes na empresa Tramontina para identificação dos seus colaboradores. O sistema foi instalado próximo ao painel e IHM do VEA, conforme figura 57.

Figura 57: Leitor RFID instalado no painel do VE.



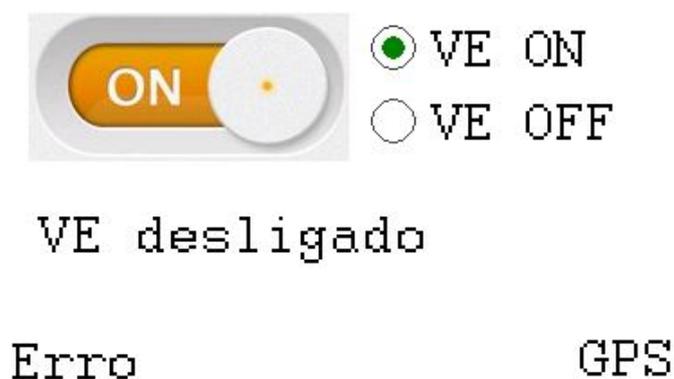
Fonte: Elaborado pelo autor.

A comunicação será realizada com o microcontrolador através do protocolo de comunicação SPI, ligados aos pinos D51 (MOSI) e D50 (MISO).

4.2.8 IHM *Nextion*

Pensando em um acesso mais interativo ao usuário, foi incorporado no projeto a IHM *Nextion*, com tela *touch*, na qual o operador poderá executar algumas ações direto da tela, como ligar o veículo, verificar localização, escolher a rota e desligar o VA. A figura 58 apresenta o *layout* da tela IHM projetado para o veículo.

Figura 58: *Layout* da IHM *Nextion* montada no VE.



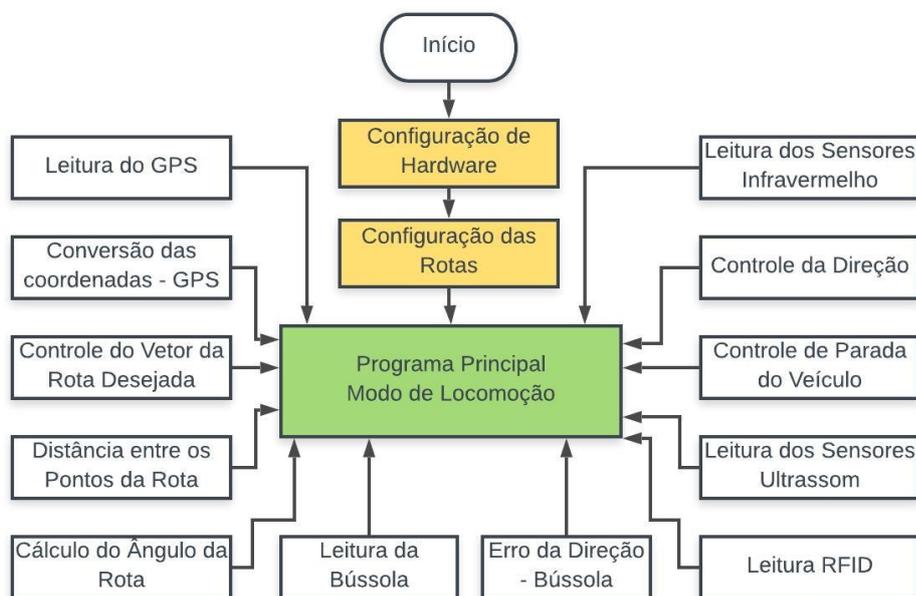
Fonte: Elaborado pelo autor.

Sua comunicação foi realizada através do protocolo de comunicação serial com o microcontrolador RX2 (D17) e TX2 (D16). Sua operação foi com alimentação de 5V/145 mA oriunda da fonte de tensão do próprio microcontrolador.

4.3 *Software*

Nesta seção será apresentado o desenvolvimento do projeto do *software* para o sistema do VEA. O ambiente de desenvolvimento utilizado foi o Arduino IDE, um aplicativo de plataforma cruzada, cuja linguagem de programação é escrita em Java, C e C++. Ele é usado para escrever e carregar programas em placas compatíveis com Arduino. A sequência de instruções seguidas e/ou executadas na manipulação, redirecionamento ou modificação de acontecimentos são divididas em quatro etapas. São elas: controle por linha, controle por GPS, sensoriamento de segurança e IHM. A figura 59 apresenta o fluxograma ilustrando as funções projetadas no *software* do VEA.

Figura 59: Fluxograma apresentando todas as funções projetadas no *software* do veículo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além das etapas mencionadas, o *software* contempla toda a configuração de *hardware*, conforme conexões físicas apresentadas na seção 4.2, as bibliotecas dos dispositivos utilizados e as rotas pré-definidas pelo usuário.

As linhas de comando permitem executar e realizar as tarefas desejadas para o veículo, obedecendo o objetivo principal do projeto. Essa etapa é fundamental, pois todas as situações e eventuais comandos permitidos devem ser contemplados, possibilitando que o veículo execute a rota e o movimento correto. A apresentação do *software* foi restrita à algumas informações por questões de confidencialidade, não possibilitando assim a cópia do projeto do VEA.

4.3.1 *Software* - Seguidor de linha

Através dos sensores infravermelho utilizados, um circuito integrado no módulo gera um sinal de saída digital simples para ser interpretado. Quando a luz refletida é considerada “escura”, a saída fica baixo (0) e alta (1) para cor mais clara (linha). Um potenciômetro instalado no módulo ajusta o nível correto de luz para ser diferenciado o escuro ou claro. Foram utilizados cinco sensores para criar uma matriz de controle e correção da direção do veículo. Operar com 5 sensores permite a geração de uma “variável de erro”, que auxilia no controle da posição do veículo sobre a linha.

A matriz de cinco sensores foi montada de forma que, se apenas um sensor está centrado em relação à linha branca, ele irá produzir um “1”. Por outro lado, o espaço entre os sensores foi calculado para permitir que dois sensores possam cobrir a largura total da linha branca simultaneamente, produzindo assim um “1” em ambos os sensores.

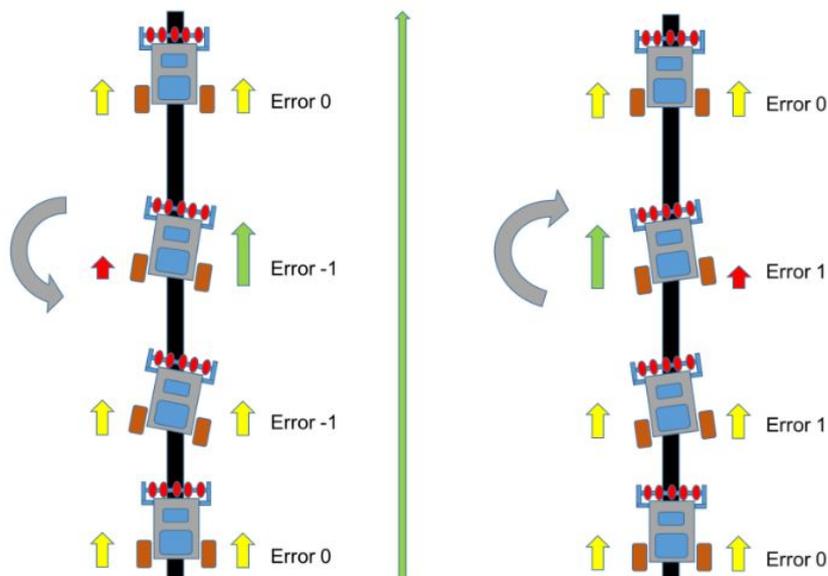
Considerando a condição ideal de alinhamento, a linha estará apenas abaixo do sensor do meio (Sensor 3). A saída da matriz, portanto, será 0 0 1 0 0. Nesta situação, o “erro” será “zero”. Se o veículo começa a se deslocar para a esquerda, o erro deverá aumentar e haverá um sinal positivo. Se o veículo começar a mover-se para a direita, da mesma forma, o erro também aumentará, mas agora com um sinal negativo. A variável de erro, relacionada com o estado do sensor será:

0 0 0 0 1 ==> erro = 4
 0 0 0 1 1 ==> erro = 3
 0 0 0 1 0 ==> erro = 2
 0 0 1 1 0 ==> erro = 1
 0 0 1 0 0 ==> erro = 0
 0 1 1 0 0 ==> erro = -1
 0 1 0 0 0 ==> erro = -2
 1 1 0 0 0 ==> erro = -3
 1 0 0 0 0 ==> erro = -4

Fonte: (CIRCUITS, 2019).

Através da lógica apresentada, pode-se obter um controle ideal para o veículo se guiar automaticamente através da linha branca instalada no piso da empresa. A figura 60 ilustra os comandos que o VEA receberá, modificando seu comportamento, para ajustar o erro identificado na matriz dos sensores.

Figura 60: Comportamento da direção do veículo através dos sinais dos sensores.



Fonte: Adaptado de (CIRCUITS, 2019).

O sistema ao receber os sinais conforme matriz apresentada anteriormente, identifica o erro e envia pulsos ao *driver* do motor de passo. Para obter um melhor controle, o *Software* envia

um sinal PWM ao controlador *Curtis* do veículo, passando por um filtro RC. Esse sinal analógico filtrado transmite o comando da velocidade na qual o veículo deve estar no momento da leitura atual dos sensores. Quanto maior for o erro em módulo, menor será o sinal PWM. Através do controle proporcional da velocidade e erro, é possível executar a correção da direção, possibilitando que o veículo sempre esteja seguindo a linha.

A cada 120 micro segundos são enviados pulsos elétricos para o *driver* executar um passo no motor da direção. São necessários 8.000 pulsos para uma volta completa do eixo e 20.500 para rotacionar o setor de direção até o fim do curso.

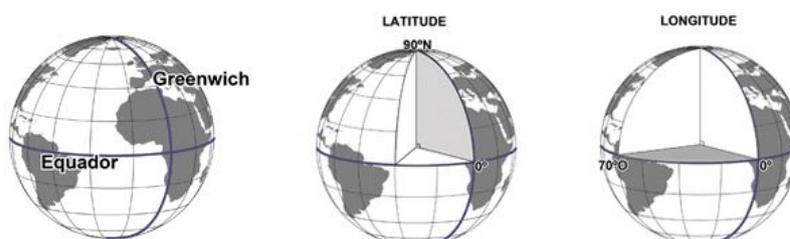
4.3.2 *Software* - Sistema de posicionamento global

O GPS é implantado em VA's ou AGV's por sua complexidade e baixa exatidão para criação de rotas de deslocamento. Como um dos objetivos fundamentais deste trabalho foi projetar uma tecnologia com um desempenho satisfatório e baixo custo, foram implementadas rotas através do GPS. Neste sentido, o projeto do *software* é fundamental, pois permite tornar ao usuário o sistema mais flexível a mudanças de rotas.

Com a união dos dispositivos GPS e magnetômetro foi possível realizar comandos de deslocamento do veículo. A criação de rota através de pontos pré-selecionados das coordenadas de latitude e longitude fornecidas do GPS foi fundamental para iniciar os cálculos e o desenvolvimento do *software*. O uso desse método na determinação em VA permite uma maior flexibilidade para as empresas, pois as mesmas podem realizar alterações nos percursos sem a necessidade de alteração das linhas criadas no piso.

Antes de continuar a descrição do projeto, é necessário uma breve explicação a respeito do sistema de coordenadas utilizado pelo GPS. A latitude divide os polos norte e sul e é definida como a distância de um determinado ponto à linha do Equador. A longitude, por sua vez, separa o hemisfério oriental (leste) e ocidental (oeste) e representa a distância até o meridiano de *Greenwich*, conforme figura 61. Tanto a latitude, como a longitude são representados em graus. Partindo-se do 0° , a latitude aumenta até 90° (para norte) e diminui até -90° (para sul), já para a longitude aumenta até 180° (para leste) e diminui até -180° (para oeste).

Figura 61: Sistemas de coordenadas geográficas ilustrada na Terra.



Fonte: Adaptado de (VENESS, 2019).

Inicialmente, para uso do módulo de GPS, o *software* foi projetado com a inclusão das bibliotecas necessárias, como: *AdafruitGPS.h*, *waypointClass.h*, *MechaQMC5883.h* e *math.h* (cálculos matemáticos). Foi necessário realizar comandos de inicialização do módulo do GPS, os quais determinam que até a obtenção dos dados dos satélites, deve-se aguardar para dar início ao uso do VE. Esse tempo pode variar conforme o ambiente onde o VEA está, sendo que o pior caso gera uma espera de no máximo dois minutos. O usuário obtém essa informação através da IHM, liberando o acesso para ativação do veículo.

O primeiro passo no desenvolvimento do código foi a inclusão da rota a ser guiada pelo VE. Deve ser inserido todas as coordenadas geográficas da rota, independente se o veículo estiver na linha ou no GPS. Incluindo os pontos do GPS é possível, mesmo se o veículo estiver percorrendo a linha, realizar correções de trajetória. Isso é útil caso aconteça alguma falha e o deslocamento saia da linha. Com o sistema implementado desta forma, a prioridade sempre será a rota do GPS. No entanto, como a precisão da linha é sempre maior, ao encontrar o trajeto, o VEA continua seu deslocamento.

O pontos devem ser pensados fazendo com que o deslocamento seja contínuo, sem interrupções e mudanças de direção bruscas. Esses dados são incluídos no vetor da biblioteca *waypointClass.h* e não permite alterações por parte do usuário. Com as rotas criadas, apenas programadores poderão realizar alterações nas rotas estabelecidas no protótipo desenvolvido. Não existe limites para inclusão de pontos do GPS no código. Assim, no projeto proposto foi criado um trajeto para simulação prática com 16 pontos, traçando uma rota de 397 m, conforme figura 62. Essa rota possui trechos em ambiente externo e interno (ambiente fabril).

Figura 62: Rota projetada no software de deslocamento do VE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 6 apresenta o vetor de coordenadas geográficas incluídas no vetor *waypointclass* para a rota pré-definida no *software*.

Tabela 6: Coordenadas geográficas da rota pré-definida no projeto do VEA.

Latitude	Longitude	Controle
-29.2815303802	-51.4843101501	GPS
-29.2815589904	-51.4838714599	GPS
-29.2816085815	-51.4838066101	GPS
-29.2820873260	-51.4835433959	GPS
-29.2825069427	-51.4834785461	GPS
-29.2826576232	-51.4835205078	GPS
-29.2826709747	-51.4840011596	GPS
-29.2826862335	-51.4843025207	GPS
-29.2825851440	-51.4844169616	Linha
-29.2825031280	-51.4844627380	Linha
-29.2824211120	-51.4845123291	Linha
-29.2822990417	-51.4845046997	Linha
-29.2821083068	-51.4844970703	Linha
-29.2819709777	-51.4845314025	Linha
-29.2818202972	-51.4845466613	Linha
-29.2816200256	-51.4844322204	Linha

Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido à alta circulação de pessoas na rota criada, as simulações e avaliações de desempenho do VEA foram testadas numa rota de 6 pontos, abrangendo uma distância de 150 m com linha e GPS.

Adicionalmente, no desenvolvimento do *software* do GPS foi necessário realizar a conversão dos dados que o módulo obtém das coordenadas. O dispositivo retorna as informações em decimais por minutos, cujos valores são convertidos em ângulos decimais.

A lógica utilizada para deslocamento do veículo projetado pode ser dividida em duas etapas. A primeira compreende o cálculo da distância em metros através do ponto criado no vetor *waypoint* pré-definido e a coordenada atual do GPS. Isso faz com que o sistema interprete quanto falta para o veículo chegar até o ponto necessário. O cálculo parece simples, mas a forma correta não é tão básica, pois existe a necessidade de sempre considerar a curvatura da terra. A distância não é definida em uma linha reta, devido a precisão necessária para o produto.

Então, para realizar esse cálculo foi utilizado o conceito da fórmula Haversine, pois considera a curvatura da terra. Para isso, foi necessário iniciar o cálculo com a lei esférica dos cossenos, apresentada na equação 4.1 (VENESS, 2019).

$$\cos(a) = \cos(b) * \cos(c) + \sin(b) * \sin(c) * \cos(a) \quad (4.1)$$

Deriva-se a fórmula de Haversine para calcular a distância entre dois pontos como:

$$a = \sin^2 (\Delta(\text{latdiferenca}/2)) + \cos \text{lat1} * \cos \text{lat2} * \sin^2 (\Delta(\text{longdiferenca}/2)), \quad (4.2)$$

$$c = 2 * \arctan^2(\sqrt{a}, \sqrt{(1-a)}), \quad (4.3)$$

$$d = R * c, \quad (4.4)$$

onde, Δ (latdiferenca) é a diferença da latitude do ponto 1 com o ponto 2, Δ (longdiferenca) é a diferença da longitude do ponto 1 com o ponto 2, R é o raio da terra, ou seja, 6371km e d é a distância calculada entre dois pontos.

Após determinar a distância entre os dois pontos, a segunda etapa foi descobrir a direção na qual os pontos se encontram. O ângulo de direção é geralmente utilizado para definir a navegação na aviação, navegação marítima ou para veículos terrestres. O "*Bearing*", como é conhecido nessa área, pode ser definido como o ângulo entre a linha norte-sul da terra (meridiano) e a linha de conexão entre o alvo e o ponto de referência. "Rumo" é o ângulo no qual se está navegando atualmente. Isso significa que para chegar a um destino específico é necessário ajustar a direção do *bearing* com o rumo. Para a obter esse dado utiliza-se um instrumento chamado magnetômetro ou bússola eletrônica. A bússola eletrônica retorna sempre os dados para o referencial do Norte Magnético, sendo 0°. Assim foi usado no *software* o Azimute para realizar os cálculos e gerar dados de 0 a 360°.

Através do dado da coordenada no ponto de destino incluído no vetor *waypointclass* e a coordenada atual obtida pelo módulo do GPS, é possível calcular a direção que o veículo deverá seguir para chegar ao alvo, conforme equação 4.5 (UPADHYAY, 2019).

$$\beta = \arctan^2\left(\frac{X}{Y}\right), \quad (4.5)$$

Onde X e Y são duas quantidades e podem ser calculados como as equações 4.6 e 4.7. Denote os pontos A e B como dois pontos diferentes, onde θa é o ponto A de latitude e θb é o ponto B de latitude.

$$X = \cos(\theta b) * \sin(\Delta L), \quad (4.6)$$

$$Y = \cos(\theta a) * \sin(\theta b) - \sin(\theta a) * \cos(\theta b) * \cos(\Delta L), \quad (4.7)$$

onde a L é a longitude, θ é a latitude e β é o ângulo do ponto de destino.

Assim, quando o veículo está operando no modo de navegação por GPS, o *software* de controle da direção das rodas interpreta o erro do ângulo entre os dois pontos, fazendo com que o veículo corrija a direção. O objetivo é sempre manter o erro "0", ou seja, manter o veículo na direção correta e em linha reta.

4.3.3 *Software* - Sensoriamento de segurança

Um dos principais objetivos do avanço da tecnologia em projetos de VA's é aumentar a segurança. É preciso aliar essa tendência da tecnologia com a diminuição de acidentes nas estradas. Para isso, se faz necessário *hardwares* e *softwares* voltados a segurança do veículo, a fim de não causar nenhuma espécie de colisão e acidentes para os usuários.

Através dos sensores ultrassom instalados nas laterais e no para-choque dianteiro do veículo foi possível receber sinais digitais através das ondas emitidas pelos sensores. Esses sinais são capazes de interpretar a distância exata de um objeto localizado à frente do seu campo de atuação.

Além dos botões físicos no painel, o veículo pode executar uma parada através do *software* de controle dos sensores ultrassom. Com a inclusão da biblioteca Ultrasonic.h foi implementado uma lógica de programação na qual os sensores, ao receberem informação que algum objeto ou pessoa está em seu campo de atuação, emitem um sinal para realizar a parada imediata. Os sensores laterais foram programados para parar ao encontrar obstáculos a uma distância de 0,7 m e os sensores na parte frontal do veículo a uma distância de 2,5 m.

O veículo também possui um sistema de controle para quando ocorrer falhas, como a não leitura pelos sensores, tensão, *encoders*, entre outros. Nestes casos, o veículo executa a parada. Caso o veículo não encontre a linha e o GPS não obtenha dados de navegação, o veículo também executa a parada.

4.3.4 *Software* - Interface Homem Máquina

Para a implantação da IHM no VE foi necessária a utilização da biblioteca para Arduino, específica do fabricante da Nextion (Nextion.h). Através de comandos específicos, foi realizado o envio de dados do microcontrolador à tela e vice-versa.

Através do *software Nextion Editor* foi desenvolvido um *layout* com a criação de botão em dois estados, textos fixos e textos com rolagens. Cada elemento incrementado na tela, recebe uma identidade (ID). Essa ID é necessária no projeto do código fonte no Arduino, a fim de identificar e enviar o dado necessário para o elemento correto. A figura 63 apresenta a declaração de cada elemento com sua ID.

A IHM da Nextion foi configurada para realizar sua comunicação via protocolo Serial2 do Arduino Mega, conectadas pelos terminais 16 e 17. Nesta configuração, as informações importantes e necessárias ao usuário são enviadas para tela, como: erro da direção, distância ao próximo ponto do GPS, usuário habilitado, veículo em andamento e o estado que o veículo está operando (linha, GPS ou obstáculo encontrado). Além do veículo obter um botão físico de emergência, foi implantado via IHM um botão o qual o usuário deverá realizar o acionamento por clicar na tela *touch*. Através desse acionamento o veículo poderá dar início ou parada de sua trajetória.

Figura 63: Declaração dos elementos utilizados na IHM.

```
NexDSButton botaoOnOff = NexDSButton(0, 4, "botaol");
NexRadio radioLedOn = NexRadio(0, 5, "radio0");
NexRadio radioLedOff = NexRadio(0, 6, "radiol");
NexScrolltext scrolltext = NexScrolltext(0, 1, "msgscroll");
NexScrolltext scrolltext_1 = NexScrolltext(0, 11, "msgscroll1");
NexText texto_erro = NexText(0, 7, "t0");
NexText texto_gps = NexText(0, 8, "t1");
```

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A figura 64 apresenta no ambiente Nextion Editor a declaração dos elementos utilizados no VE autônomo.

Figura 64: Identificação dos elementos no software de desenvolvimento Nextion.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas seções anteriores foi apresentado o esquema de montagem do VAE utilizando um modelo já comercializado pela empresa Tramontina como base. Além disso, foram detalhados o sistema mecânico e elétrico, especificando cada dispositivo empregado. Por fim, foi explicado como o *hardware* e o *software* foram projetados. Esta seção, por sua vez, consiste na apresentação e análise da performance do VEA frente aos testes de validação, buscando atender todos os objetivos específicos planejados.

Todos os sistemas projetados neste trabalho foram instalados e programados no veículo, possibilitando a realização de rotas autônomas, conforme descrito nos itens acima. O projeto foi executado em etapas. Em cada etapa testes parciais foram aplicados para avaliar o desempenho de cada tecnologia e/ou sistema implantado. Dessa forma, os resultados serão apresentados de acordo com cada etapa. A figura 65 apresenta a conclusão da montagem do VA desenvolvido neste estudo.

Figura 65: Veículo Elétrico Autônomo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1 Análise do sistema de locomoção

O veículo possui dois principais sistemas de locomoção (GPS e Linha), e seus resultados são apresentados subseções seguintes.

5.1.1 Linha

A tecnologia mais comum utilizada para deslocamentos de AGV's é a identificação óptica através de linhas no piso, segundo fabricante *Spark*. Para projetar um produto de baixo custo e que apresente um desempenho satisfatório, sensores infravermelhos foram instalados no veículo. Através da implantação e posterior avaliação, pode-se comprovar o porquê dessa tecnologia ser tão utilizada, principalmente nos AGV's. Em um ambiente industrial, estes dispositivos se deslocam em rotas pré-definidas através de sensores que fazem o sistema controlar o seu deslocamento continuamente. Dentre os sistemas de locomoção, a identificação óptica de pisos apresenta baixo custo, pois é composta basicamente de sensores e um *software* de controle. Porém, uma desvantagem desse sistema é a não flexibilidade das rotas, pois é necessário a instalação de linhas no piso da empresa a ser utilizado. Caso haja a necessidade de alterar a rota é necessário o investimento na retirada da rota já existente e a instalação de uma nova rota através de linha no piso. Outro ponto negativo na utilização de linhas para deslocamento é a durabilidade do traçado. Em ambientes industriais, devido a circulação de materiais e empilhadeiras, as linhas podem ir perdendo sua intensidade e não sendo mais detectável.

Inicialmente, no projeto do VEA foram encontrados sensores de infravermelho de baixo custo a fim de atender a demanda do projeto. Todos os sistemas desenvolvidos e planejados no projeto foram testados em bancada, onde dois sensores infravermelhos LM393 apresentaram um desempenho bom, podendo identificar com facilidade a diferença de cores escuras e claras. Com a pré-análise realizada, o sistema foi montado e testado no veículo. Nesta etapa foram encontrados problemas operacionais. Foram realizados vinte e cinco simulações práticas e todas amostras obtiveram falhas de identificação da cor. Ao passar na frente do sensor ou deixar mais claro o ambiente, o mesmo não retornava a informação correta, comprovando que esse tipo de sensor não era o mais indicado para a aplicação no VEA. Em nenhuma das análises realizadas foi possível obter um deslocamento do veículo. Os sensores possuíam uma sensibilidade muito alta, fazendo com que variações de claridade e cor apresentassem resultados insatisfatórios.

Por isso, foram utilizados sensores infravermelho do fabricante *SICK*, apresentados na seção de projeto. Com estes sensores foi possível gerar resultados satisfatórios, nos quais independente da iluminação do ambiente, o sinal de retorno foi preciso, identificando corretamente a diferença de cor clara e escura. Em contrapartida, o custo destes sensores foi consideravelmente maior, quando comparado ao anterior.

Na avaliação em bancada do sistema de direção, constatou-se que a aplicação de dois sensores seriam insuficientes para a realização do controle da rota do veículo, pois no teste de deslocamento o veículo percorria em torno de 7 a 8 m e se desviava da linha. Para solucionar esse resultado negativo, buscou-se proporcionar um controle maior ao sistema de direção pela incorporando um controle proporcional ao sistema. Foram necessários a instalação de cinco sensores infravermelho e desenvolvimento de *software* com controle de erro que o veículo ia assumindo durante seu deslocamento.

Dessa forma, o projeto apresentou resultados satisfatórios, deslocando-se perfeitamente. Foram realizados trinta simulações na rota traçada na cor branca no piso da empresa, chegando a se deslocar em distância superior 40 m. Apenas uma amostra apresentou falha do sistema, desviando o veículo da rota. Nessa simulação, foi detectado que o veículo saiu da rota devido à falha na comunicação do *driver* do motor de passo, fazendo com que não realizasse o comando da direção.

Além de analisar o veículo em andamento, realizou-se o monitoramento de entradas e sensores, passos da direção e o erro da rota através da porta serial. Com o controle proporcional, foi possível que o VEA percorresse a rota com curvas e retas apresentando resultados satisfatórios. No entanto, percebeu-se que na projeção e rotas deve-se cuidar para não criar curvas acentuadas, pois isso faz o sistema trabalhar levemente.

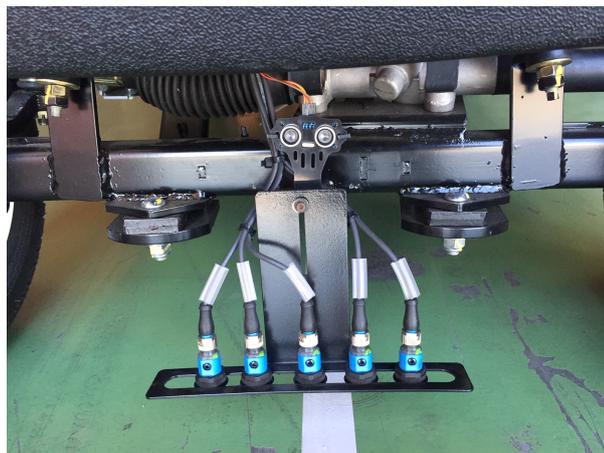
Dessa forma, foi possível comprovar que o sistema implantado através de cinco sensores infravermelho e do *software* de controle proporcional da direção, fez o VEA obter um desempenho satisfatório para o projeto. O veículo projetado e construído foi capaz de percorrer rotas desenvolvidas através de linhas na cor branca, não apresentando falhas e fugas das rotas. Esse sistema em funcionamento traz segurança ao projeto, sendo possível utilizá-lo dentro de ambientes industriais para deslocamento de pessoas e materiais. A figura 66 e 67 apresenta o veículo percorrendo uma rota na "linha" criada dentro do ambiente industrial da Tramontina e os sensores infravermelhos em funcionamento, respectivamente.

Figura 66: Veículo Elétrico Autônomo em percurso na rota traçada em ambiente industrial



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 67: Sensores infravermelho em funcionamento na linha criada no ambiente industrial.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2 GPS

A locomoção do veículo através de sistema de coordenadas geográficas representa certamente um grande diferencial das tecnologias utilizadas nos produtos de mesmo segmento. Atualmente, os veículos automotivos autônomos e AGV's não utilizam esse sistema para criação de rotas, mas apenas para guiar o rumo final. Nos veículos automotivos, os veículos optam por utilizar tecnologias RADAR, do inglês *Radio Detection And Ranging* e LIDAR, do inglês *Light Detection And Ranging*, para enxergar a rota a frente, realizando os comandos ao veículo. Essas tecnologias são muito caras, porém com uma precisão excelente.

Com a finalidade de atender a mesma função, porém com um custo inferior, foram criadas análises sobre rotas determinadas através de pontos geográficos. Conforme discutido anteriormente na seção 2, os dispositivos GPS apresentam em teoria um erro de até 5 m. Esse dado é de grande importância, pois ao criar uma rota que pode apresentar esse erro torna possível que o veículo colida em algum obstáculo lateral.

Em análises de bancada, foram adquiridos três módulos de GPS a fim de avaliar a exatidão dos dispositivos. Todos, em teoria, apresentavam erro de 5 a 7 m. No entanto, o melhor resultado obtido foi o GPS do fabricante Adafruit, apresentando nos testes erro inferior a 2 m. Quanto maior o número de satélites dos quais são extraídos dados, mais precisa será a informação da coordenada.

Foi utilizado esse módulo e o *software* foi projetado baseado no dispositivo. A principal vantagem da utilização desta tecnologia é a flexibilidade na criação de rotas, pois não se faz necessária a criação de linhas, perfurações de piso e marcações físicas. É necessário apenas obter qual a coordenada geográfica dos pontos que o veículo deverá percorrer e registrar a latitude e longitude no vetor criado no *software*. Neste sentido, foram criadas cinco rotas, a fim de obter a análise da precisão das coordenadas do GPS. Nesse ambiente alguns obstáculos foram encontrados, como áreas de interferência de prédios e árvores, possibilitando que o sistema diminua

sua exatidão. Foi necessário avaliar essa condição adversa para determinar o desempenho em diversas situações. Nos testes em ambiente aberto, o módulo Adafruit conseguiu obter até 7 satélites, garantindo uma precisão aceitável. Nos ambientes com interferência de construções e área interna dos pavilhões, o módulo coletava informação de 4 a 5 satélites, perdendo exatidão.

A partir dos dados obtidos, foram criados pontos e o resultado foi analisado comparando o módulo com a informação do *Google Maps*. Foram usados pontos de referência para medir a distância, obtendo a diferença do erro. As figuras 68 e 69 apresentam um exemplo da amostra analisada no *Google Maps* e no ponto real que foi realizada. A diferença da distância foi calculada utilizando como ponto de referência a extremidade da rua, obtendo assim o erro da coordenada real. Considerando que o *Google Maps* obtém o ponto real da coordenada, analisamos a exatidão do dispositivo. Não serão consideradas e avaliadas as incertezas de medições do *Google Maps*.

Figura 68: Coordenada Geográfica obtida pelo módulo do projeto comparado com a obtida no *Google Maps*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 69: Realização da medição do ponto físico para ser comparado com a coordenada real.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 7 apresenta dez simulações realizadas das coordenadas geográficas avaliando o desempenho do módulo do GPS Adafruit no ambiente aberto, interno da empresa e com interferências de construções no raio de 15 m.

Tabela 7: Análise da exatidão do módulo GPS do projeto VEA em diversos ambientes possíveis.

Amostra	Erro Coordenada Real (m)		
	Interferência	Aberto	Interno
1	1,9	1,2	5,8
2	2,1	1,9	4,9
3	0,7	2,0	4,0
4	2,0	1,0	5,2
5	1,8	1,4	5,1
6	2,3	1,0	6,0
7	1,7	1,2	5,2
8	1,5	1,4	5,4
9	1,9	1,4	5,9
10	1,6	1,5	6,2
Média	1,75	1,40	5,37

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através dos dados analisados conclui-se que as coordenadas coletadas de satélites pelo módulo de GPS em ambiente aberto estão com um erro de +/- 1,70 m, satisfazendo o erro teórico aceitável de 5 m. Em ambientes interno, o erro é elevado para +/- 5,37 m, confirmando a desvantagem de usar a tecnologia GPS em ambientes sem acesso ao sinal.

A partir dos resultados expostos, confirma-se que houve êxito na incorporação de tecnologias ao VEA. Ao percorrer ambientes internos, o veículo é monitorado através do GPS, porém com o seguidor de linha predominante. Ao deslocar-se em ambiente aberto ou com pequenas interferências, o veículo opera ao módulo de locomoção através das coordenadas, apresentando um resultado satisfatório.

A análise do módulo de GPS também abrangeu a verificação da utilização desta tecnologia nas rotas e locomoção que se faz necessária para atendimento das rotas estabelecidas. O veículo não se desloca apenas com o sistema de GPS, exigindo a necessidade do magnetômetro para guiar-se a direção. Dessa forma, esses dois dispositivos foram analisados com testes práticos realizados na planta da Tramontina.

O primeiro aspecto a ser avaliado foi o cálculo da distância em metros dos pontos do GPS pré-definidos no vetor do *software*. Esse é um dos pontos que faz que o sistema entenda se foi atingido o objetivo e passe a buscar o novo ponto da rota. Foram obtidos resultados satisfatórios nas análises realizadas, pois ao se aproximar do ponto real, o sistema buscou o próximo ponto. Todas essas análises foram avaliadas diretamente no monitor serial, considerando cada variável em estudo.

Foi programado no *software* que o sistema interprete como alvo atingido quando veículo estiver a uma distância inferior a 4 m. Neste sentido, foram realizadas 15 amostras calculando

a distância entre os pontos da rota pré-definida comparado com a distância real. A média do erro da distância obtida através do *software* foi de 2,3 m. Esse resultado atende o especificado, pois o *software* está programado para buscar um novo ponto da rota quando obter um valor de distância superior ao encontrado nas análises.

O último ponto avaliado no quesito locomoção por GPS foi a direção que o veículo deve seguir. Para atender essa demanda foi utilizado a informação da coordenada de destino e os dados da bússola. Acompanhando os testes, foi observado que o cálculo está sendo realizado corretamente, fazendo com que o veículo realize o ajuste da direção. A figura 70 apresenta o momento da análise do cálculo da direção, apontando que o veículo está na direção correta. Os testes foram realizados com o veículo parado, apresentando um erro da direção inferior a 6° .

Figura 70: Ângulo calculado da direção do veículo através da bússola eletrônica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar do cálculo estar sendo realizado corretamente, algumas dificuldades foram encontradas. Nas análises e testes realizados o veículo não mostrou bom desempenho, pois não conseguiu se deslocar perfeitamente na rota. O retorno dos cálculos do ângulo e diferença do erro estavam corretos, porém houve um atraso nos cálculos, fazendo o veículo perder a estabilidade da direção, pois o módulo do GPS possuía um atraso em atualizar a informação da coordenada real. Assim, ao receber a nova informação, o veículo estava com um erro de direção superior ao que deveria. Esforços foram feitos para otimizar *software* e deixá-lo mais rápido para que fosse possível obter melhores resultados. Antes de atualizar o cálculo, o erro era de até 15° necessitando interferência humana para ajustar a direção da bússola.

A perda da estabilidade da direção faz com que o veículo não realize uma rota uniforme, gerando atrasos em seu deslocamento. O ideal é que o veículo realize seu deslocamento de uma forma suave, sem grandes movimentos de alteração de direção. Apesar do resultado não ter sido o ideal, o mesmo atende o objetivo original de deslocamento do veículo entre diversos pontos das coordenadas geográficas. Através dos dados analisados, uma proposta possível a ser

implantada para melhorar o desempenho do sistema é a criação do *software* do veículo através de microcontroladores capazes de operar através de sistema operacional *RTOS*, do inglês *Real Time Operating System* realizando operações de multi tarefas com períodos de execução pré-definidos. Dessa forma, enquanto um sistema ficaria calculando e direcionando o veículo, outra tarefa operaria simultaneamente para realizar o controle da direção. Com esse sistema, não seria necessário esperar os processos finalizarem para iniciar outro comando.

Com os resultados obtidos nessa etapa, pode-se concluir que o com a união das duas tecnologias estudadas o VEA conseguiu realizar sua rota buscando cada ponto da rota pré-definido. O VEA realiza a passagem da sua rota dentro da tolerância de 4 ms definida pelo projeto. O atendimento do objetivo de deslocamento por GPS é comprovado pelas análises e testes realizados. A figura 71 apresenta ilustração de uma das análises realizada da direção do veículo em seu deslocamento comparado ao ponto da rota a ser seguida. Os pontos destacados na imagem ilustram os pontos pré-definidos na rota de deslocamento e a linha é o trajeto que o veículo percorre.

Figura 71: Análise do erro de deslocamento com o ponto da rota criada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um último ponto relevante nesta análise que demonstrou resultados satisfatórios foi a criação do *software* do deslocamento da linha, com controle externo do GPS. Isso quer dizer que quando o veículo estiver se deslocando através da linha e por algum motivo sair da rota pré-definida, o sistema de GPS irá entrar em ação a fim de corrigir o erro e retornar para a linha. O GPS não foi utilizado em todos os ambientes devido à imprecisão da coleta dos dados em ambientes fechados. Porém, estará sempre rodando em segundo plano a fim de avaliar se o veículo está dentro da rota principal projetada.

5.2 Resultados periféricos

No projeto do VA desenvolvido foram instalados periféricos para atender uma demanda específica e facilitar aos usuário o uso do produto. Podemos dividir em três etapas: controle da direção, RFID e IHM.

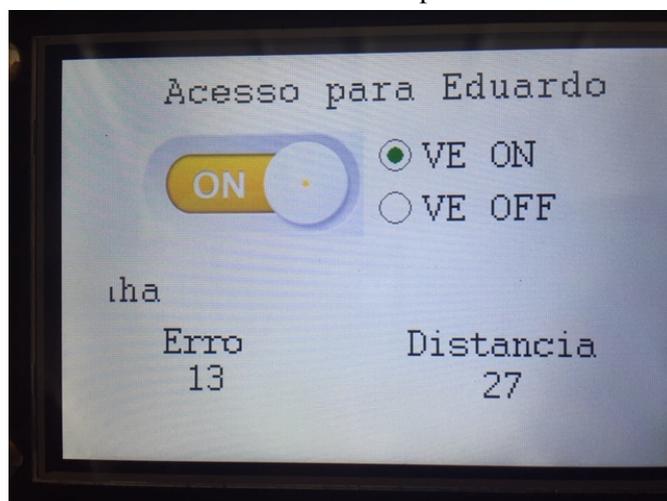
O controle de direção é responsável por receber os dados interpretados pelo microprocessador e realizar os comandos de direção. Através destes comandos o veículo realiza as curvas para a direita ou esquerda, independente do sistema em operação ser através do GPS ou linha. Em todos os testes realizados não houveram problemas com a realização da direção, apresentando resultados satisfatórios para o objetivo solicitado para essa função. Dessa forma, todo o sistema de direção do veículo passou de mecânico no projeto original para totalmente eletrônico.

O sistema projetado e instalado RFID tem por objetivo atender à uma demanda específica de que somente pessoas autorizadas possam utilizar o veículo. De forma bem prática, o mesmo foi instalado e apresentou resultados satisfatórios, pois o o veículo somente iniciou seu percurso quando o cartão do funcionário "Eduardo Zaro" da empresa Tramontina foi aproximado do leitor.

A IHM com *touch* é um adicional incluído no projeto para facilitar acesso às informações e comandos pelo usuário. O sistema foi implantado conforme o projeto apresentado e mostrou resultados satisfatórios. Na tela foram retornadas instantaneamente informações, como: usuário liberado para uso, erro de direção do veículo, bem como a distância entre o ponto do GPS. Havia também um letreiro exibindo em qual modo o veículo estava, em condução ou parado. Além de tudo isso, era possível que o usuário acionasse a ação de parada e início da rota através de um botão *touch* na tela.

A figura 72 apresenta a IHM em funcionamento durante o deslocamento do VEA.

Figura 72: IHM em funcionamento durante percurso do veículo autônomo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

5.3 Sensoriamento de segurança

O veículo possui em seu projeto todo o sistema necessário para que não ocorra nenhum acidente ao usuário e ao produto. Um dos objetivos da tecnologia avançar nos veículos autônomos é garantir a segurança das pessoas e podendo salvar vidas no trânsito. Seguindo a mesma linha, o veículo possui sensores capazes de identificar objetos ou pessoas ao seu redor.

Os cinco sensores ultrassom instalados trabalham de forma independente, ou seja, mesmo que somente um sensor receba o sinal de aproximação, é acionado o comando de parada. Os sensores emitem um som ultrassônico e ao colidir com algum obstáculo e refletir para o sensor, o mesmo identifica a distância do objeto.

O sensor frontal foi programado para identificar um obstáculo a uma distância de 2,5 m e os laterais a 70 cm. Ao ser identificado, o veículo realiza o comando ao controlador para desativar o funcionamento do motor e envia através da serial na IHM a mensagem: "Obstáculo encontrado". Nos testes realizados, após receber o sinal do objeto identificado, o VEA realizou a sua parada total em 1,8 s. A distância que o veículo percorre ao receber identificação do objeto abaixo da faixa programada é em média 20 cm.

O controlador do veículo foi programado para conter uma desaceleração imediata, fazendo que a parada seja o mais rápido possível. Pode-se concluir que o veículo atendeu o objetivo de realizar a parada imediata ao se deparar com qualquer objeto em seu contorno, não ocasionando nenhum acidente para os usuários.

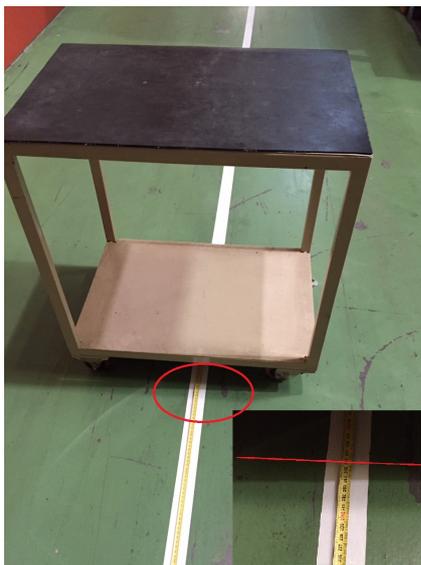
Foram analisados testes também no quesito exatidão da medida dos sensores, nos quais ao colocar um objeto na medida prevista, o mesmo deveria receber o comando. A figura 73 e 74 apresenta o teste da distância no qual o objeto foi interpretado pelo sistema na distância nominal de 2,5 m. Nas amostras realizadas, o objeto é identificado a 2,44 e 2,48 m. Assim, pode-se avaliar que o erro nominal é inferior em 3%, apresentando um desempenho satisfatório para aplicação.

Figura 73: Objeto identificado no percurso do veículo elétrico autônomo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 74: Amostra do objeto identificado a uma distância de 2,46 m.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O uso de sensores ultrassom para essa finalidade atende perfeitamente a demanda de identificação de obstáculos com precisão, porém o projeto apresentou dificuldades e falhas ao usar o sistema em ambiente externo. Devido à sensibilidade que esses sensores possuem, ao passar por ventos ou gotas de chuva, o mesmo interpretava como objeto. Não foi possível realizar testes com outros sensores para atender a mesma finalidade, mas o mais indicado são os sensores ópticos infravermelho com ângulo de abertura 130° ou lasers. A desvantagem desses sensores é o seu custo, podendo chegar até 10 vezes mais que o sensor avaliado e testado no projeto.

5.4 Funcionamento do projeto

Através de diversas análises realizadas nas seções anteriores, foi possível verificar que o veículo realiza a locomoção de forma autônoma de duas maneiras. A união dessas tecnologias aumenta as opções de tecnologias que podem ser usadas nos segmentos de carros automotivos e AGV's. O projeto e implantação de protótipo do VEA gerou diversos resultados que podem ser utilizados para aprimoramento das tecnologias dos dispositivos e equipamentos autônomos.

O GPS é uma tecnologia antiga utilizada na área de locomoções, mas muito pouca explorada na aplicação de deslocamentos de forma autônoma. Atualmente esse sistema é utilizado apenas para guiar e localizar equipamentos no espaço, porém através deste projeto, foi apresentada a possibilidade de incorporar essa tecnologia para traçar rotas e deslocamentos de veículos de um maneira flexível.

Algumas falhas foram obtidas nas avaliações do projeto, mas nenhuma impediu de atender o objetivo geral traçado, desenvolver um veículo capaz de transportar materiais e seres humanos em diversas ambientes de forma autônoma. A figura 75 apresenta o VEA implementado realizando deslocamento de pessoas em uma determinada rota na empresa Tramontina.

Figura 75: Veículo Elétrico Autônomo desenvolvido no projeto deslocando uma pessoa durante o ambiente industrial da empresa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 Análise dos custos

A busca por equipamentos e produtos de baixo custo é uma prática diária das pessoas e ambientes corporativos no mundo atual. Para manterem-se competitivas, as empresas precisam buscar tecnologias novas que reduzam processos. O objetivo do VEA surge para suprir essa necessidade no ambiente industrial, trazendo flexibilidade para que possam ser transportados objetos e pessoas durante o processo da empresa. Atualmente existem os AGV's que realizam o deslocamento de materiais durante o processo produtivo de forma autônoma, mas o VEA vem para complementar esse mercado podendo transportar seres humanos, o que os demais produtos de mercado não possibilitam.

O VEA busca unir tecnologias baratas incorporadas em um produto existente no portfólio da empresa Tramontina, tornando-o um carro elétrico que permite deslocamento de forma autônoma. O custo é um dos pontos fundamentais para avaliar a viabilidade de um projeto. Não basta ser um projeto funcional e completo, se o preço comercializado será superior à soluções semelhantes já existentes pelo mercado. A seguir apresentamos os custos do projeto do VEA desenvolvido pelo autor e avaliado com possíveis soluções no ambiente industrial. Não estão sendo considerados os impostos submetidos aos produtos e componentes aqui utilizados. A tabela 8 apresenta os custos finais dos equipamentos e dispositivos retirados do produto já existente.

A tabela 9 apresenta os custos finais de cada dispositivo eletrônico que foi incorporado ao projeto do VA que foram previstos na seção Metodologia. Não estão incluídos os custos de frete em cada componente.

Tabela 8: Custos dos componentes retirados do projeto original.

Sistema	R\$
Sistema de Direção	270,00
Pedal de Freio	185,09
Freio de Estacionamento	37,68
Acelerador Eletrônico	444,72
Chicote Elétrico	20,50
Custo Total	957,99

Fonte: (TRAMONTINA, 2019)

Tabela 9: Custos dos sistemas incorporados no projeto do VEA.

Sistema/Dispositivo	Custo (R\$)
Microcontrolador Arduino Mega	94,90
Sensores Infravermelho	750,00
Bússola Eletrônica	35,90
Sensores Ultrassônico	35,00
Leitor RFID	21,51
Motor de Passo NEMA 34	550,00
Driver de Motor de Passo	453,50
GPS	300,89
IHM Nextion	91,95
Condutores	60,00
Filtro RC	55,00
Botões/Interruptores	45,50
Suportes/Dispositivos	300,00
Adesivação Especial	15,00
Terminais e Conectores	45,00
Custo Total	2.854,15

Fonte: (ADAFRUIT, 2019) (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2019) (TRAMONTINA, 2019) (FILIPEFLOP, 2019).

Não está contemplado nos gastos do produto, os custos relacionados à mão de obra nem protótipos e dispositivos danificados durante testes. O custo final foi 44% superior ao previsto no projeto, sendo de R\$1.896,16 a diferença entre os dispositivos incluídos e excluídos no projeto. Devido à política de cálculos nas listas de vendas da empresa, haverá um aumento de R\$ 3.792,32 no preço final do projeto desenvolvido chegando aos consumidores ao preço ao valor R\$ 44.292,32.

O projeto que poderá ser tornar um produto no futuro, apresenta diversas maneiras de ser utilizado no ambiente industrial. O principal objetivo é substituir o trabalho humano para transportar materiais ou até mesmo outras pessoas. Sem a necessidade de motorista, é possível realizar uma comparação prática para uma possível aplicação. Se o veículo for utilizado para transportar materiais entre pavilhões de forma autônoma, atinge-se uma redução de custo operacional de R\$ 5.100,00/mês (TRAMONTINA, 2019). Esse é o custo atual para a empresa de um funcionário que opera um veículo de transporte de mercadoria no ambiente industrial. O

tempo de retorno do investimento para a aplicação citada é de 8 meses.

Como o mercado não possui atualmente um produto idêntico ao projetado neste trabalho, foi realizada uma comparação com dois segmentos que inspiraram o desenvolvimento do produto. Apesar dos VA's possuírem uma tecnologia superior a utilizada neste projeto, eles realizam uma das principais funções do VEA, o transporte de pessoas. Esses veículos ainda não estão sendo comercializados e especialistas estipulam que possam ter um preço de venda de US\$400 mil (NAPOL, 2017). Outro segmento muito semelhante ao projeto é da família dos AGV's. Esses veículos atendem os mesmos objetivos do projeto, porém são comercializados ao mercado ao preço de R\$125.000,00 (SPARK, 2019). Nesta discussão, não será considerado o sistema de controle para gestão de rotas desses equipamentos.

Por fim, foi possível desenvolver um projeto com tecnologias existentes no mercado atual, apresentando um protótipo com as mesmas funções de veículos similares, porém com preço muito inferior. Deve-se levar em consideração o que está sendo comparado, pois nenhum dos projetos apresentados são idênticos ao projeto do VEA. Assim, o objetivo de projetar e construir um veículo de grande porte para deslocamento de pessoas e materiais com um preço inferior a R\$50.000,00 foi atendido por este projeto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desse projeto proporcionou a utilização de diversos dispositivos e tecnologias já existentes em uma determinada aplicação para criar um produto capaz de percorrer rotas e deslocar-se de forma autônoma. Este é um assunto muito comum nos dias atuais, pois o avanço da automação nos equipamentos utilizados nas indústrias proporcionou um aumento das possibilidades, a fim de desenvolver funções de forma menos onerosa. Nos ambientes industriais, o custo de todo o desenvolvimento deve ser levado em consideração, pois pela competitividade do mercado as empresas têm buscado economia em produtos e processos.

A fim de unir dois segmentos dos sistemas de locomoção utilizados atualmente, os AGV's e os VA, foi desenvolvido um protótipo capaz de incorporar ambas as tecnologias em uma única aplicação. Os AGV's possuem falhas e são incapazes de atingir certos requisitos. Assim, buscou-se desenvolver uma nova forma de deslocamento, otimizando a forma de operação.

Os AGV's não apresentam flexibilidade na forma de locomoção, sendo necessário o desenvolvimento de rotas físicas nos pisos das empresas. Eles são incapazes de transportar pessoas, o que também motivou a reflexão a respeito da possibilidade de aprimorar esta tecnologia. Assim surgiu o projeto desenvolvido por este trabalho. Um VEA capaz de realizar operações de deslocamento de pessoas e materiais, dentro de um ambiente fabril (interno e externo), de forma autônoma, utilizando as tecnologias de GPS e guias seguidor de linha na determinação e condução de rotas.

O desenvolvimento desse projeto comprova a flexibilização que o VEA traz para o ambiente industrial, não sendo necessária a instalação de sistemas para que o veículo percorra uma rota. Neste sentido, as empresas podem ter VEA deslocando-se em ambiente externo sem demarcações em suas vias. Se for necessário trocar a rota, o usuário realiza novos pontos apenas utilizando um *software*, não danificando pisos ou vias para retirada de rotas.

Ainda há diversos avanços a serem realizados nestas tecnologias. Atualmente esse segmento vem ganhando forma nas aplicações em VA, porém ainda há desvantagens, como o elevado custo e as falhas de execução. Neste sentido, o VEA amplia o desenvolvimento de VE's com dispositivos que possam ser incorporados nesse segmento, apresentando um custo inferior aos utilizados atualmente.

A partir dos dados apresentados neste trabalho, podemos afirmar que o veículo atendeu todos os requisitos e objetivos estipulados para aplicação de deslocamento de seres humanos e materiais, sem a necessidade de motorista e de uma forma segura. Apesar disso, algumas falhas foram encontradas, conforme exposto nas seções anteriores. Assim, por mais que a tecnologia atenda os objetivos, diversos fatores precisam ser otimizados para gerar um produto que possa futuramente ser comercializado.

Um dos desafios do projeto do VEA foi o desenvolvimento das rotas de locomoções através do GPS e do magnetômetro. Essas duas tecnologias são pouco usadas para traçar rotas. Na maioria das vezes, são empregadas apenas para guiar dispositivos, ou seja, o GPS apenas informa

aos dispositivos a rota final ou traça rotas virtualmente para os usuários, sem executar ações através das informações geradas pelo GPS. Os VA em desenvolvimento acabam utilizando tecnologia *LIDAR*, garantindo uma precisão muito superior do que o GPS. Isso foi comprovado por alguns resultados obtidos nas análises da tecnologia.

O desenvolvimento do VEA propõe a discussão sobre até que ponto essa tecnologia poderá ser utilizada para desenvolvimento de sistemas de locomoção de pessoas. No projeto desenvolvido, apesar de não apresentar uma estabilização em suas rotas externas, foi possível realizar o comando de rotas de forma automática sem necessitar da presença do usuário para dar comandos, categorizando este VA como nível 3.

Destaca-se ainda que o desenvolvimento do VEA proposto utilizou tecnologias paralelas às utilizadas atualmente nos veículos em desenvolvimento, gerando custos inferiores. Com a utilização de diversos dispositivos e tecnologias menos onerosas, foi possível tornar o VEA desenvolvido um produto que pode ser classificado numa nova família. O VEA possui funções superiores a um AGV e inferiores aos VA. Assim, o produto encaixa-se numa categoria intermediária e apresenta custos inferiores a um AGV, sendo este já comercializado no mercado brasileiro.

6.1 Trabalhos futuros

O projeto desenvolvido trouxe diversas conclusões e conhecimentos para o meio acadêmico no segmento de VA. Porém, há pontos a serem melhorados para análises futuras. O primeiro ponto a ser discutido nesta tecnologia são os sensores de presença de pessoas e/ou objetos. O modelo utilizado atualmente apresentou falhas na amostragem em ambiente externo, identificando ventos e chuva. Esta etapa pode ser aprimorada com o uso de sensores a laser, com ângulo de visão de 270°. Este sistema já está começando a ser usado em algumas empilhadeiras, porém ainda possui um custo elevado para incorporação em VEA.

Além disso, o sistema de processamento do VEA também pode ser aprimorado. O projeto utilizou um microprocessador Arduino Mega, mas observou-se a necessidade de utilizar processadores capazes de operar com sistemas operacionais RTOS. Desse forma, seria possível operar num sistema de multi tarefas, priorizando algumas tarefas em detrimento de outras, tornando o *software* mais rápido para as funções necessárias.

Também seria necessário aprimorar o uso do GPS em VEA, pois houveram algumas falhas tanto na comunicação como na perda de sinal. É importante avaliar a viabilidade e a confiabilidade desta tecnologia para desenvolvimento de VA. O projeto desenvolvido foi realizado de forma simples, possibilitando ao usuário realizar comandos através da IHM em seu painel. No entanto, futuramente novas funções podem ser desenvolvidas. A alteração manual de rotas, a possibilidade de continuar em uma rota a partir de um ponto de parada, a escolha de rotas diferentes, bem como a incorporação de rotas através de sistemas de movimentação de materiais da empresa são exemplos de funções que podem ser inseridas.

Há outros pontos ainda que podem ser estudados no VEA, trazendo maior praticidade e promovendo a locomoção de forma segura, como:

- a) o estabelecimento de uma conexão via *Wi-fi* com a internet, transmitindo informações de localização em tempo real e possibilitando visualizar rotas de diversos VEA desenvolvidos;
- b) a permissão através de controle externo para que o AGV seja visualizado e requisitado a trocar de rota, mesmo durante um percurso;
- c) o deslocamento através da criação de rotas utilizando tecnologia de câmeras e processamento de imagens;
- d) a criação de um sistema integrado com o da empresa, sendo possível gerenciar rotas e editar conforme necessidade de cada material ou ser humano em deslocamento;
- e) a incorporação da tecnologia *LIDAR* no projeto;
- f) a criação de um sistema capaz de identificar e avaliar prioridades preferenciais em cruzamentos existentes na empresa devido à circulação de veículos não autônomos no parque fabril;
- g) o desenvolvimento de novas tecnologias para proteção e segurança do veículo, diminuindo a possibilidade de acidentes;
- h) realizar análise de funcional de segurança do veículo desenvolvido;
- i) desenvolver interação entre diversos VEA no mesmo ambiente industrial.

REFERÊNCIAS

- ADAFRUIT. **Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits**. 2019. Disponível em: <https://www.adafruit.com/> - Acesso em: 14-04-2019.
- ARDUINO. **Arduino**. 2019. Disponível em: <https://www.arduino.cc/> - Acesso em: 10-03-2019.
- ATLEE, J. **Selecting safer building products in practice**. [S.l.]: Elsevier, 2011. (5).
- BALL, S. R. **Enabedded Micropocessor Systems: real world design**. Third Edit. ed. [S.l.]: Library of Congress Cataloging, 2002. 378 p.
- BARRETO, G. **Veículo Elétrico a Bateria: contribuições à análise de seu desempenho e seu projeto**. [S.l.: s.n.], 1986.
- BAÚ DA ELETRÔNICA. **Baú da Eletrônica Componentes Eletrônicos**. 2019. Disponível em: <http://www.baudaeletronica.com.br> - Acesso em: 14-04-2019.
- BRAGA, I. N. C. **Sensoriamento infravermelho**. 2019. Disponível em: <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/52-artigos-tecnicos/artigos-diversos/4577-art639> - Acesso em: 10-03-2019.
- CABRAL RIBEIRO, P. C.; BATALHA, M. O. **Supply Chain Management View project**. [S.l.: s.n.], 2007.
- CALDEIRA PEDROSO, M.; ALVES, R. J.; LIMA, C.; PAULO, B. S.; ZWICKER, R. **A ADOÇÃO DE RFID NO BRASIL: um estudo exploratório**. [S.l.: s.n.], 2009.
- CHASE, O. **Sistemas Embarcados**. [S.l.]: SBA Jovem, 2007.
- CHIN, D.; WEI, M. **VEÍCULOS AUTÔNOMOS: conceitos, histórico e estado-da-arte** rodrigo de sousa pissardini daniel chin min wei edvaldo simões da fonseca júnior. **Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET**, [S.l.], 2013.
- CIRCUITS, I. **Line Follower Robot - PID Control - Android Setup: 12 steps (with pictures)**. 2019. Disponível em: <https://www.instructables.com/id/Line-Follower-Robot-PID-Control-Android-Setup/> - Acesso em: 02-09-2019.
- Circuitstoday. **Ultrasonic range finder using 8051 and HC-SR40 ultrasonic module**. 2019. Disponível em: <http://www.circuitstoday.com/ultrasonic-range-finder-using-8051> - Acesso em: 10-03-2019.
- CURTIS. **AC Motor Controllers | Curtis Instruments**. 2019. Disponível em: [\url{https://www.curtisinstruments.com/products/ac-motor-controllers/ }](https://www.curtisinstruments.com/products/ac-motor-controllers/) - Acesso em: 02-02-2019.

CUSTODIO, V. **Implementação De Agente Inteligente , Modelado Como Um Veículo Autônomo , Para Desvio De Como Um Veículo Autônomo , Para Desvio De**. [S.l.: s.n.], 2017.

ENERGIA, F. Carros Elétricos. **Energia FGV**, [S.l.], v. 7, p. 112, 2017. Disponível em: [https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/19179/Caderno Carros Eltricos-FGV-BOOK VFINAL](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/19179/Caderno%20Carros%20Eltricos-FGV-BOOK%20VFINAL) - Acesso em: 08-01-2019.

FILIFELOP. **Módulo Bússola Eletrônica HMC5883L - FilipeFlop**. 2019. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-bussola-eletronica-hmc5883l/> - Acesso em: 24-03-2019.

FONTAINHAS, J. **Avaliação da Viabilidade Econômica da Aquisição de um Veículo Elétrico em Portugal**. [S.l.: s.n.], 2013.

FRANCISCO, M.; JÚNIOR, F. A Terceira Revolução Industrial e o Novo Paradigma Produtivo : algumas considerações sobre o desenvolvimento industrial brasileiro nos anos 90. **Rev. FAE**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 45–61, 2000.

FRIEDMANN, R. M. P. **Fundamentos de Orientação, Cartografia e Navegação Terrestre**. 2. ed. [S.l.]: Editora UTFPR, 2008.

GROSSA, L. C. **Fundamentos, Tecnologias e Aplicações de Veículos**. [S.l.: s.n.], 2017.

HAUCH, B.; DE CASTRO, R.; CHIARI BARROS, D.; GONZAGA DA VEIGA, S. **Baterias automotivas: panorama da indústria no brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global**. [S.l.: s.n.], 2013.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global Positioning System**. 5. ed. [S.l.]: Springer-Verlag Wien, 2001. 382 p.

HONEYWELL. **Axis Digital Compass IC HMC5883L**. [S.l.: s.n.], 2019.

IEA. **Electric Vehicles**. 2018. Disponível em: <https://www.iea.org/tcep/transport/evs/> - Acesso em: 08-01-2019.

Instituto Avante Brasil. **Brasil é o quinto país do mundo em mortes no trânsito, segundo OMS**. 2010. Disponível em: <https://www.metrojornal.com.br/foco/2017/05/01/brasil-e-o-quinto-pais-mundo-em-mortes-no-transito-segundo-oms.html> - Acesso em: 16-02-2019.

JUNG, C. R.; OSÓRIO, F. S.; ROBERTO, C. Computação Embarcada : projeto e implementação de veículos autônomos inteligentes. **XXV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação**, [S.l.], p. 1358–1406, 2005.

KIM, C. W.; TANCHOCO, J. M.; KOO, P. H. AGV dispatching based on workload balancing. **International Journal of Production Research**, [S.l.], v. 37, n. 17, p. 4053–4066, 1999.

KPMG. **Self-driving cars: the next revolution**. [S.l.: s.n.], 2012.

Magnetic Declination. 2019. Disponível em: <http://www.magnetic-declination.com/> - Acesso em: 17-03-2019.

MATULKA, R. The History of the Electric Car - Department of Energy. **Department of Energy**, [S.l.], 2014. Disponível em : <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car> - Acesso em: 24-10-2018.

MIDIACON NEWS. **Renault debate viabilidade de carro elétrico no Brasil – Veículo Elétrico**. 2015. Disponível em: <https://veiculoelétrico.blog.br/2015/04/renault-debate-viabilidade-de-carro.html> - Acesso em: 09-01-2019.

NAKATANI, A. M.; NETO, V. M. **Medição Com Sensor Ultrassônico HC-SR04**. [S.l.: s.n.], 2014.

NAPOL, I. **Sensor LiDAR ainda mantém o custo alto para carros autônomos - TecMundo**. 2017. Acesso em: 21/10/2019 - Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/mobilidade-urbana-smart-cities/119983-sensor-lidar-ainda-mantem-custo-alto-carros-autonomos.htm>.

NEXTION. **IHM - Datasheet - NX4832T035_011**. 2019. Disponível em: https://nextion.itead.cc/resources/datasheets/nx4832t035_011/ - Acesso em: 21-04-2019.

NHTSA. **Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles**. 2012. Disponível em: <http://www.autoalliance.org/index.cfm?objectid=CC9678B0-A415-11E5-997E000C296BA163> - Acesso em: 16-02-2019.

NOCE, T.; HORIZONTE, B. **Estudo do Funcionamento de Veículos Elétricos e Contribuições ao seu Aperfeiçoamento**. [S.l.: s.n.], 2009.

PENTA TRANSACTION. **Penta Transaction**. 2018. Disponível em: <https://v5.penta-transaction.com/PortalPenta/inicio> - Acesso em: 04-03-2019.

PEREIRA, M. F.; SOUZA OLIVEIRA, A. de. **Estudo da tecnologia de identificação por radiofrequência-RFID**. [S.l.: s.n.], 2006.

PHILIPPE, G. **Como funciona o GPS?** 2014. Disponível em: <https://www.oficinadanet.com.br/post/12406-como-funciona-o-gps> - Acesso em: 24-03-2019.

PSCHIEDT, E. **Robô Autônomo - Modelo Chão de Fábrica**. 2007. 58 p.

QUEIROZ, R. A. d. A. **Motores de Passo**. [S.l.: s.n.], 2009.

Robo Core. **Sensor de Refletância QRE - Analógico - Sensores**. 2019. Disponível em: <https://www.robocore.net/loja/sensores/sensor-de-linha-qre-analogico> - Acesso em: 10-03-2019.

SANTOS, V. D. A. **Motor de Passo**. [S.l.: s.n.], 2008.

SEMICONDUCTORS, P. **Electronic Compass Design using KMZ51 and KMZ52 Application Note AN00022**. [S.l.: s.n.], 2019.

SICK. **GRTE18S-P2347 | Lichttaster und Lichtschranken | SICK**. 2019. Disponível em: <https://www.sick.com/de/de/lichttaster-und-lichtschranken/lichttaster-und-lichtschranken/gr18s/grte18s-p2347/p/p298333> - Acesso em: 08-09-2019.

SOUZA, G. **Carrinho elétrico de golfe: conheça esse veículo versátil**. 2019. Disponível em: <https://carroeletrico.com.br/blog/carrinho-eletrico-de-golfe/> - Acesso em: 30-01-2019.

SPARK. **Spark AGV's**. [S.l.: s.n.], 2019.

TABALDI, E. C.; KAVISKI, C. A. **Planjemaneto de um evento Kaizen aplicado no sistema de veículo guiado automaticamente (AGV) em uma linha de montagem de automóveis**. Curitiba: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, 2017.

TESLA. **Tesla**. 2019. Disponível em: <https://www.tesla.com/about> - Acesso em: 08-01-2019.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. B. Braga de. **Sensores Industriais: fundamentos e aplicações**. Érica. ed. São Paulo: Câmera Brasileira do Livro, 2011. 224 p.

TRAMONTINA. **Tramontina - Veículo Elétrico**. 2019. Disponível em: <https://www.tramontina.com.br/busca/517-veiculos-utilitarios-eletricos?q=eletrico+veiculo> - Acesso em: 30-01-2019.

TRIGG, T.; TELLEEN, P.; FULTON, L. **Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020**. [S.l.: s.n.], 2013. (April).

TROJAN. **DC-8V | Trojan Battery Company**. 2019. Disponível em: <https://www.trojanbattery.com/product/dc-8v/> - Acesso em: 02-02-2019.

UPADHYAY, A. **Formula to Find Bearing or Heading angle between two points: latitude longitude - gis map info**. 2019. Disponível em: <https://www.igismap.com/formula-to-find-bearing-or-heading-angle-between-two-points-latitude-longitude/> - Acesso em 16-09-2019.

VENESS, C. **Calculate distance and bearing between two Latitude/Longitude points using haversine formula in JavaScript**. 2019. Disponível em: <https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html> - Acesso em 16-09-2019.

ANEXO A – TERMO DE CONFIDENCIALIDADE



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
Unidade Acadêmica de Graduação

TERMO DE CONFIDENCIALIDADE PARA COLETA DE INFORMAÇÕES DE EMPRESA/INSTITUIÇÃO.

Eu, **Eduardo Zaro**, aluno do **Curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Controle e Automação Industrial** da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos, matriculado sob o número 1171316, **declaro que a Empresa/Instituição Tramontina Multi S/A** objeto de estudo do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **VEÍCULO ELÉTRICO AUTÔNOMO PARA AMBIENTE INDUSTRIAL CONTROLADO POR GPS DE BAIXO CUSTO** entregue no semestre 2019/2, **permitiu a pesquisa e o uso de todos os dados que nele constam.**

Declaro, ainda, que as informações apresentadas são verdadeiras e correspondem à realidade da Empresa/Instituição estudada.

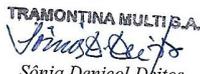
(x) A Empresa/Instituição autorizou a divulgação do seu nome fantasia/razão social.

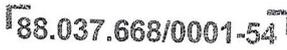
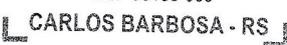
() A Empresa/Instituição não autorizou a divulgação do seu nome fantasia/razão social. Nesse caso, responsabilizo-me em preservar o nome da Empresa/Instituição de forma a que ela não seja passível de identificação no meu Trabalho.

Carlos Barbosa, 09 de Maio de 2019.


Assinatura do aluno

Ciência da empresa


Nome do responsável da Empresa/Instituição


TRAMONTINA MULTI S/A
Rod. BR 470 - Km 230
CEP 95185-000


Assinatura do Responsável da Empresa/Instituição
Carimbo ou CNPJ