

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA**

**Escola de Engenharia Mauá**

Engenharia de Controle e Automação

IGOR PAMPONET DOS SANTOS ALVES

LEONARDO MORAES AYRES DA SILVA

LORENZO TOSI PINTO CALDEIRA

PEDRO ANGELOTTI ABREU

**AGV de Serviço – Robô Garçon**

São Caetano do Sul

2022



IGOR PAMPONET DOS SANTOS ALVES  
LEONARDO MORAES AYRES DA SILVA  
LORENZO TOSI PINTO CALDEIRA  
PEDRO ANGELOTTI ABREU

## **AGV de Serviço – Robô Garçon**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Dr. Paulo Alexandre Martin

Área de concentração: Engenharia de Controle e Automação

São Caetano do Sul

2022

AGV de Serviço: Robô Garçom. / Igor Pamponet dos Santos Alves [et al.] — São Caetano do Sul: CEUN-IMT, 2022.  
45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2022.

Orientador(a): Dr. Paulo Alexandre Martin

1. AGV. 2. Robô de Serviço. 3. Robô Seguidor de Linha. 4. Automação em Restaurantes. 5. Controle PI. I. dos Santos Alves, Igor. II. Moraes Ayres da Silva, Leonardo. III. Tosi Pinto Caldeira, Lorenzo. IV. Angelotti Abreu, Pedro. V. Instituto Mauá de Tecnologia. Escola de Engenharia. VI. Título.

IGOR PAMPONET DOS SANTOS ALVES  
LEONARDO MORAES AYRES DA SILVA  
LORENZO TOSI PINTO CALDEIRA  
PEDRO ANGELOTTI ABREU

## **AGV de Serviço – Robô Garçom**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação.

Banca avaliadora:

Dr. Paulo Alexandre Martin  
Orientador

Dr. Wânderson de Oliveira Assis  
Avaliador

Me. Valdir Medeiro Junior  
Avaliador

São Caetano do Sul, 8 de dezembro de 2022.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos, especialmente, ao nosso orientador Dr. Paulo Alexandre Martin pelo cuidado e paciência, nos auxiliando e orientando a conduzir este longo projeto.

Aos laboratoristas Téc. Fernando Nery (Bang) e Téc. Gustavo de Oliveira pela disposição e gentileza em sempre nos ajudar.

Aos nossos professores pela disponibilidade e prestatividade em nos amparar sempre que era preciso.

Agradecemos também aos nossos familiares pelo acudimento e pela força emocional que prestaram, nunca nos deixando desistir.

E a Deus pela sabedoria e força concedida para a realização deste projeto.





## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um robô automatizado (*AGV – Automated Guided Vehicle*) que realiza o processo de entregas de comidas e bebidas em um restaurante. O robô segue o conceito de um “seguidor de linha”, onde por meio de marcações no piso do restaurante ele se locomove desde o seu ponto inicial, onde os pedidos são posicionados, até a mesa do cliente. O controle deste robô é feito por meio de uma placa microcontrolada *Arduino Uno*, que altera a velocidade das rodas do robô de acordo com a sua posição na linha demarcada no piso do restaurante. O controle da velocidade é implementado por meio de um controlador Proporcional Integral (PI) embarcado no sistema microprocessado. O robô é composto por motores de alimentação DC com alto torque e placas de MDF cortadas a laser, sendo o projeto da estrutura realizado no programa *SolidWorks*. Sensores de refletância são utilizados para indicar a posição do mesmo em relação à linha. Neste trabalho enfatiza-se a aplicabilidade deste robô como auxiliar no atendimento dos clientes tendo como benefício a diminuição ou melhor distribuição das horas trabalhadas totais de um restaurante, sendo capaz de cumprir a sua função e ao mesmo tempo tendo uma programação adaptável a diferentes modelos e tamanhos de restaurantes. Esses fatores, juntamente ao baixo custo dos componentes, viabilizam o emprego de robôs *AGVs* e demonstram o potencial para se tornarem um elemento comum em restaurantes, gerando mais produtividade e lucro.

**Palavras-Chave:** AGV, robô de serviço, robô seguidor de linha, automação em restaurantes, controle PI.



## **ABSTRACT**

*This work aimed to develop an automated robot (AGV – Automated Guided Vehicle) that performs the food and beverage delivery process in a restaurant. The robot follows the concept of a “line follower”, where, by means of markings on the restaurant floor, it moves from its starting point, where orders are placed, to the customer's table. The control of this robot is done through an Arduino Uno microcontroller board, which changes the speed of the robot's wheels according to its position on the line marked on the restaurant floor, and the velocity control is implemented through a Proportional Integral (PI) controller embedded in the microprocessor system. The robot is composed of high-torque DC power motors and laser-cut MDF boards, utilizing a structure project created through the SolidWorks program. Reflectance sensors are used to indicate its position in relation to the line. This work emphasizes the applicability of this robot as a service assistant having the benefit of decreasing or better distributing the total working hours of a restaurant, being able to fulfill its function and at the same time having an adaptable programming to different models and sizes of restaurants. These factors, along with the low cost of components, enable the usage of AGV robots and demonstrate their potential to become a common fixture in restaurants, generating more productivity and profit.*

**Keywords:** *AGV, service robot, line follower robot, restaurant automation, PI control.*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desempenho do Restaurante Sem Um AGV .....	18
Figura 2 – Desempenho do Restaurante Com Um AGV .....	18
Figura 3 - Conteúdo do chassi de um AGV .....	21
Figura 4 - Parede lateral.....	26
Figura 5 - Parede do compartimento de componentes .....	26
Figura 6 - Bases internas .....	27
Figura 7 - Base inferior.....	27
Figura 8 - Exemplo de montagem do veículo .....	28
Figura 9 - Eixo Para Motor e Roda .....	29
Figura 10 - Mancais Acoplados ao Motor .....	29
Figura 11 - Eixo, Roda e Motor Conectados .....	30
Figura 12 – Diagrama de Blocos do Hardware .....	31
Figura 13 – Diagrama de blocos do Sistema de Alimentação.....	31
Figura 14 - Ponte H .....	33
Figura 15 - Arduino Uno .....	33
Figura 16 - Sensores QR1113.....	34
Figura 17 - Sensor HC-SR04.....	35
Figura 18 - Diagrama de Blocos do Sistema de Controle .....	36
Figura 19 - Representação da Pista de Ensaio .....	37
Figura 20 - Exemplo de Restaurante Adaptado para o Robo Garçom .....	38
Figura 21 - Protótipo Final do Robô Garçom.....	39



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 JUSTIFICATIVAS.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2 OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
<b>1.3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....</b>	<b>20</b>
<b>1.4 QUESTÃO CENTRAL DA PESQUISA.....</b>	<b>20</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>21</b>
<b>2.1 VEÍCULO AUTOGUIADO.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2 METODOS DE NAVEGAÇÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1 FÍSICOS.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2 VIRTUAIS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3 METODOS DE CONTROLE.....</b>	<b>23</b>
<b>3. METODOLOGIAS.....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3 HARDWARE.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3.1 ALIMENTAÇÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.2 PONTE H.....</b>	<b>32</b>

3.3.3 CONTROLADOR.....	33
3.3.4 SENSORES.....	34
3.3.5 BOTÕES.....	35
3.4 SOFTWARE.....	35
3.5 AUTONOMIA.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5. CONCLUSÕES.....	41
5.1 MELHORIAS.....	42
6. REFERÊNCIAS.....	43



# 1. INTRODUÇÃO

No momento atual, a indústria brasileira de restaurantes se encontra em um ponto de virada. As restrições oriundas da pandemia de COVID-19 chegaram ao seu aparente fim (LAUAND, 2021), e a população está começando a consumir tanto quanto antes deste período (ALMEIDA, 2022). Nesta situação de crescimento, torna-se uma estratégia lucrativa a introdução de robôs de serviço dentro do ambiente de restaurantes.

O processo é inspirado no conceito de que a automação de tarefas triviais em um restaurante possibilita que parte das horas de trabalho de funcionários, antes gastas nestas funções, podem ser realocadas para funções que realmente necessitam da atenção humana. Considerando o fato de que a conversa e auxílio de garçons e garçonetes é algo que facilita e melhora o processo de retirada de pedidos, devido ao conhecimento do cardápio e da clientela, é possível concluir que a função com mais sentido para um AGV dentro de um restaurante é o transporte de alimentos e bebidas da cozinha até as mesas.

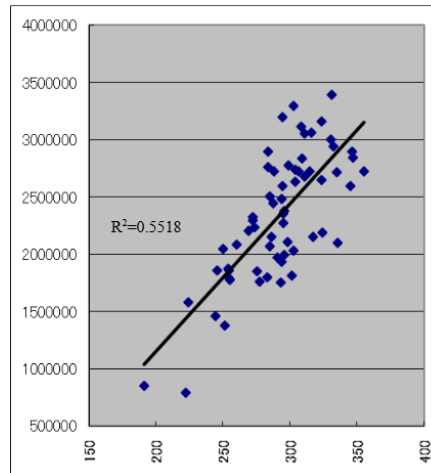
Para cumprir esta função, o robô idealizado neste projeto será um seguidor de linha auxiliado por sensores de refletância e um controlador PI (Proporcional – Integral). O conjunto destas tecnologias resulta em um robô que consegue transportar sua carga dentro do restaurante de forma suavizada e evitando colisões. O funcionamento básico do robô é o seguinte: um *chef* ou outro funcionário posiciona os alimentos no compartimento do robô e seleciona qual mesa fez o pedido, após isto o AGV se desloca ao cliente informado pelo usuário, espera até que os alimentos sejam retirados pelos clientes, e então segue a linha de volta para a cozinha onde este ciclo se repete, sempre evitando colisões no processo.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Além do aspecto analítico da atuação de robôs dentro de restaurantes, um estudo realizado por membros do *Human Augmentation Research Center*, um centro de desenvolvimento de tecnologias de aprimoramento humano localizado no Japão, concretiza o impacto da implementação de robôs em um restaurante de Tóquio (TAKESHI et al., 2019) por meio de dois gráficos onde seus pontos demonstram os resultados do horário de almoço ao longo de um dia e são distribuídos de acordo com dois eixos que representam o valor total das vendas em

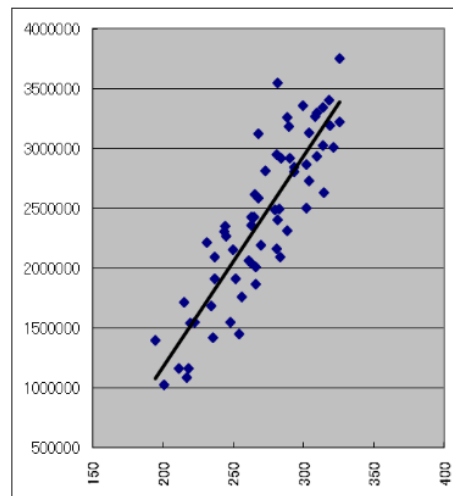
ienes (eixo y) e horas de trabalho (eixo x), sendo a Figura 1 a consolidação dos resultados sem AGVs e a Figura 2 os resultados com AGVs.

Figura 1 - Desempenho do Restaurante Sem Um AGV



Fonte: (TAKESHI *et al.*, 2019)

Figura 2 – Desempenho do Restaurante Com Um AGV



Fonte: (TAKESHI *et al.*, 2019)

Observando estes gráficos, é possível reconhecer como a automação dentro do restaurante acabou gerando uma quantidade maior de vendas com menos horas trabalhadas, demonstrando os benefícios da implementação desta tecnologia para o lucro dos restaurantes.

Em um contexto mais geral dos setores de serviço e robótica é possível reconhecer o grande crescimento destes atualmente, visto que aproximadamente 66% do PIB mundial é composto

pela indústria de serviço (*The World Bank*, 2022) e a vendas de robôs de serviço cresceram em 39% entre 2016 e 2017 (*International Federation of Robotics*, 2018).

Devido a este crescimento do setor de robótica, a indústria de restaurantes tem reconhecido os possíveis benefícios da introdução de automação com o objetivo de aumentar a eficiência do serviço e gestão de funcionários, e atualmente os casos de restaurantes que empregam robôs de serviço estão surgindo mais rapidamente (HWANG, JINSOO, et al., 2020).

É importante destacar que um robô *AGV* necessitará de um investimento inicial e de possíveis gastos com manutenção, porém, este investimento será compensado à medida que o robô for utilizado.

## **1.2 OBJETIVOS**

Este projeto tem o objetivo de desenvolver um robô *AGV* que pode transportar os pedidos de clientes dentro de um restaurante. A locomoção do robô ocorre por meio da interação entre um conjunto de sensores de refletância e uma linha preta desenhada em um fundo branco no chão do restaurante. A linha sai da cozinha, passa no meio do espaço entre todas as mesas e retorna para o seu próprio início, e os sensores posicionados em frente ao chão informam para o robô o seu movimento sobre esta linha. O controlador PI recebe a informação dos sensores e ajusta a velocidade das rodas para que o *AGV* siga a linha sem mudanças ou curvas muito bruscas. O robô reconhece qual é a mesa ao seu lado também utilizando sensores de refletância: marcações feitas ao lado da linha no chão são reconhecidas pelos sensores, e o robô reduz sua velocidade gradualmente até parar ao lado da mesa do cliente que fez o pedido.

Alguns detalhes dentro desse processo devem ser pensados para que interferências externas não prejudiquem o desempenho do robô: análise do trajeto dos clientes para evitar ao máximo que cruzem a linha-guia; definir a velocidade do robô para que possa realizar uma frenagem segura tanto para o cliente que esteja em seu caminho, quanto para o conteúdo que o *AGV* carrega, entre outras adaptações que precisam ser consideradas dependendo do tamanho e tipo de restaurante em que o robô irá atuar

### **1.3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA**

O problema atacado por esse trabalho consiste em construir um protótipo de veículo que otimize as horas de trabalho em restaurantes no Brasil, melhorando tanto a condição do trabalhador, quanto a eficiência do ambiente.

### **1.4 QUESTÃO CENTRAL DA PESQUISA**

A pesquisa tem seu foco em melhores práticas e materiais para prototipagem de baixo custo e fácil construção para estudos iniciais do comportamento de um AGV, com a finalidade de compreender os processos envolvidos na fabricação do robô e as oportunidades dentro destes.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

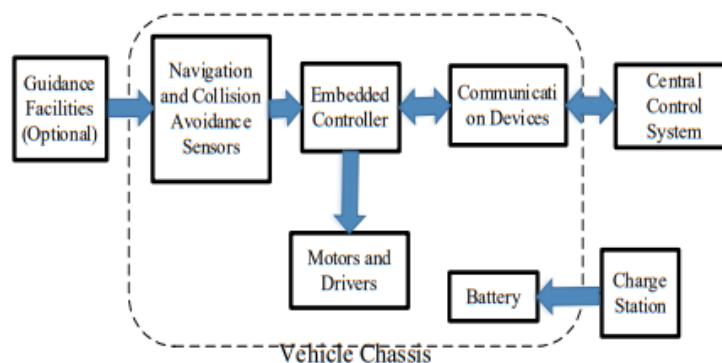
Para a construção do robô, foi necessário analisar diferentes possibilidades de navegação (JORGE PABLO, 2012; RACHEL, 2021), componentes (EWERTON et al., 2018) e controle (WILLIS, MJ., 1999), visto que a escolha destas características é essencial para garantir o movimento suavizado e poder incluir componentes de baixo custo.

### 2.1 VEÍCULO AUTOGUIADO

Do inglês, Automated Guided Vehicle (AGV) é um veículo construído para realizar tarefas repetitivas e cansativas, necessitam de uma programação prévia para se movimentar no ambiente em que foi designado. Na figura 3 é exemplificado a lógica de funcionamento do robô, em que sensores enviam informações para o microcontrolador embarcado, que por sua vez atua sobre os motores e drivers, dispositivos de comunicação garantem a integridade do veículo na rota desejada, tudo alimentado por uma bateria. (ATA, 2019)

A fabricação de um AGV passa por duas partes principais, a mecânica, que envolve planejamento da disposição interna dos hardwares e implementação dos sistemas de movimentação do veículo, e a eletrônica que consiste na montagem de toda a parte de controle e inteligência do veículo.

Figura 3 - Conteúdo do chassi de um AGV



Fonte: (ATA, 2019)

Durante o estudo de projetos similares, foi analisado um material referente ao desenvolvimento de um robô AGV omnidirecional projetado para transportar bebidas nos balcões de bares e restaurantes. O escopo deste projeto envolve a mesma proposta de orientação por meio da posição de sensores de refletância em relação a uma linha no balcão, porém o controle é feito apenas de forma proporcional e não possui sistemas de detecção de obstáculos. O projeto, porém, inclui dentro de seu escopo o desenvolvimento de um sistema de interação entre o usuário e seu AGV através de um software multiplataforma (EWERTON et al., 2018). Este material serviu de inspiração inicial para o sistema de seguidor de linha além de demonstrar uma possível maneira de desenvolvimento de interação com usuários, trazendo oportunidades de melhorias na introdução de AGVs no setor alimentício, através da hibridização dos conceitos apresentados em ambos os projetos.

## **2.2 METODOS DE NAVEGAÇÃO**

AGVs são guiados por diversos tipos de mecanismos, que são divididos em duas categorias: físicos, que necessitam de adaptação do ambiente em que o veículo irá operar, e virtuais, que são por sua maioria implementados por software.

### **2.2.1 FISICOS**

- Fita Magnética - Quando equipados com sensores magnéticos os robôs podem percorrer o caminho indicado por uma fita localizada no piso (JORGE PABLO, 2012);
- Indutância - O caminho que o veículo deve percorrer é indicado por fios dentro do piso que geram uma indutância indicando o caminho que é seguido pelo veículo (JORGE PABLO, 2012);
- Refletância – As ondas infravermelhas emitidas pelo sensor de refletância, são absorvidas de forma diferente dependendo da cor da superfície, o que possibilita criar um caminho utilizando duas cores diferentes para desenhar uma linha. Geralmente utilizam-se cores branca e preta pois são as que tem o maior contraste.

### **2.2.2 VIRTUAIS**

- Triangulação por Laser – Exige no mínimo três refletores que servem de referência para o posicionamento e a instalação de um emissor no robô. O emissor faz uma varredura no ambiente procurando esses refletores que quando encontrados, enviam as coordenadas ao veículo (JORGE PABLO, 2012);
- Visão Computacional – Utiliza do auxílio de câmeras para visualizar e mapear o ambiente, possibilitando a locomoção do veículo (RACHEL, 2021).

### **2.3 METODOS DE CONTROLE**

Durante a pesquisa de métodos para controlar a movimentação do AGV, foi possível perceber que os controladores PID (LUAN et al., 2014; FÁBIO et al., 2019) são usados em diversos projetos. A partir desta busca inicial, foi possível encontrar estudos relacionados às aplicações deste controle em AGVs (EWERTON et al., 2018; FARHAN e RAKESH, 2013) e possíveis adaptações para esta aplicação (WILLIS, M. J., 1999).





### 3. METODOLOGIAS

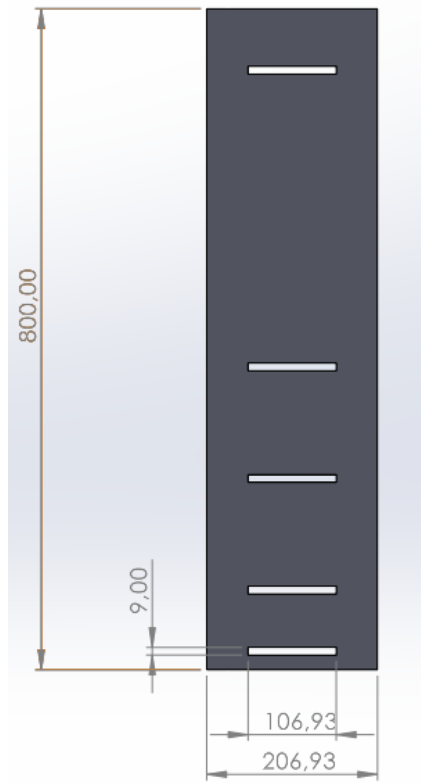
O desenvolvimento deste protótipo, detalhado neste capítulo, foi dividido em partes com a intenção de otimizar o processo, desde dimensionamento, passando por sistema de movimentação, hardware e software.

#### 3.1 DIMENSIONAMENTO

As figuras a seguir são as peças modeladas dentro do aplicativo SolidWorks para a construção do AGV:

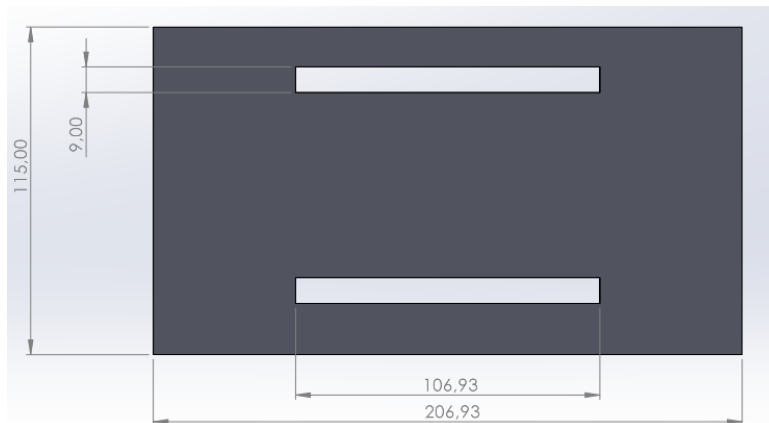
- Na Figura 4 é importante destacar como a altura da peça foi elaborada para ser compatível com a altura das mesas de um restaurante, e os cortes horizontais são para encaixe das bases da estrutura;
- Na Figura 5 pode-se observar uma parede menor com a finalidade de criar um compartimento para os sistemas mecânico e eletrônico do veículo, e deixar a frente do robô aberta para facilitar o acesso ao interior onde estarão os pratos e copos da entrega.
- A Figura 6 é o projeto dos andares internos da estrutura que servirão de apoio para os objetos a serem entregues nas mesas.
- A Figura 7 foi desenhada com a intenção de facilitar a fixação dos componentes do veículo, como rodas, motores e o *hardware* de controle.

Figura 4 - Parede lateral



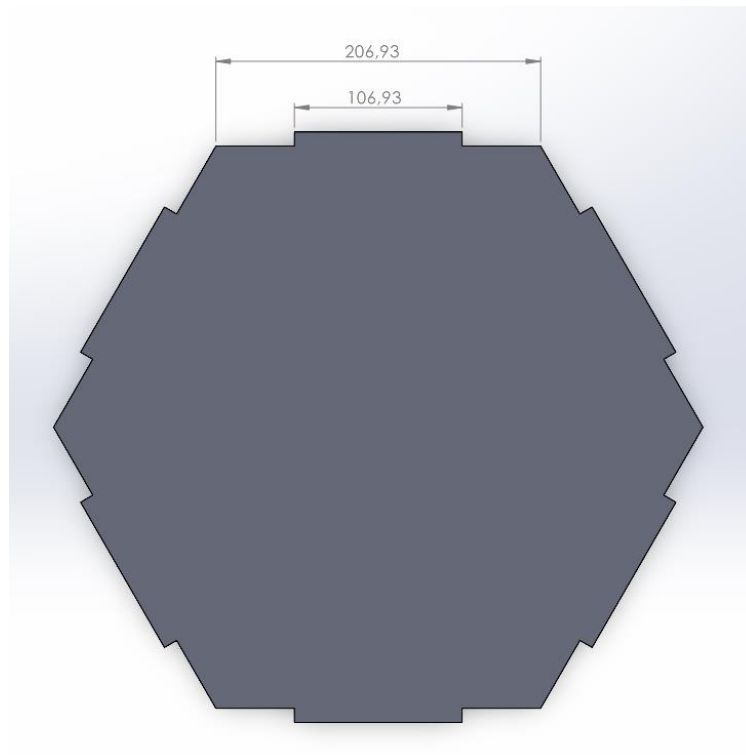
Fonte: Autores (2022)

Figura 5 - Parede do compartimento de componentes



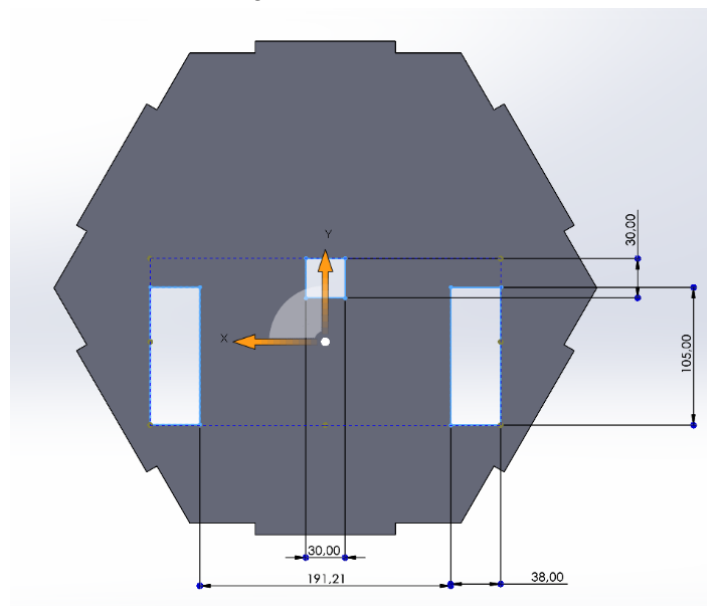
Fonte: Autores (2022)

Figura 6 - Bases internas



Fonte: Autores (2022)

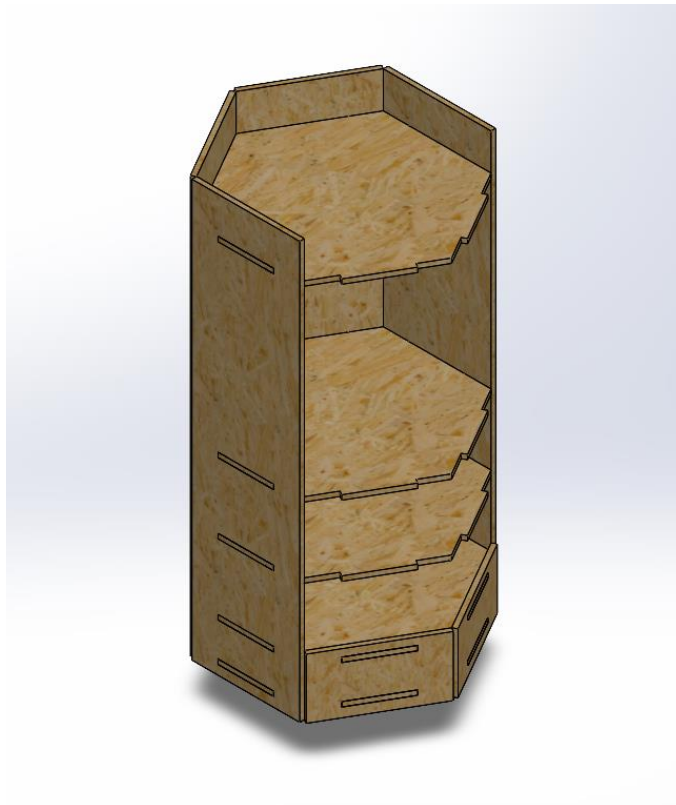
Figura 7 - Base inferior



Fonte: Autores (2022)

A construção final destas peças pode ser alterada devido ao restaurante em que o robô atuará (pode necessitar de menos ou mais andares), a Figura 8 demonstra uma destas possibilidades:

Figura 8 - Exemplo de montagem do veículo

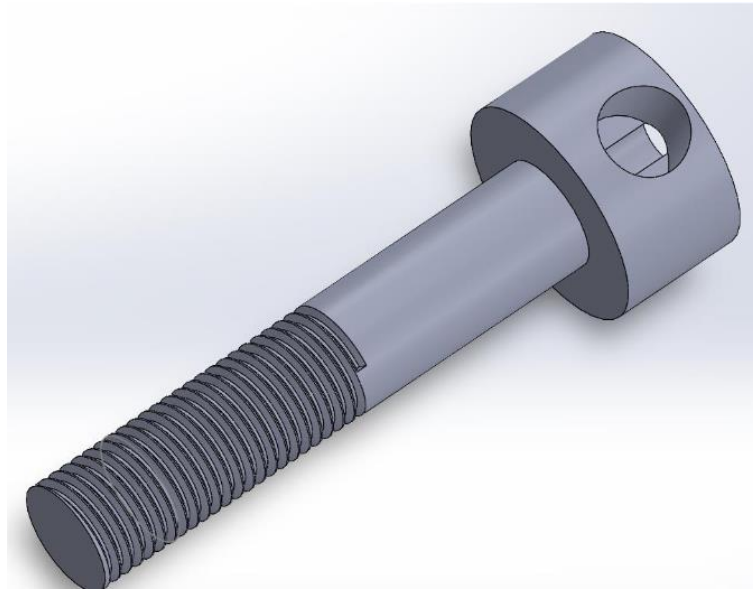


Fonte: Autores (2022)

### 3.2 Sistema de Movimentação

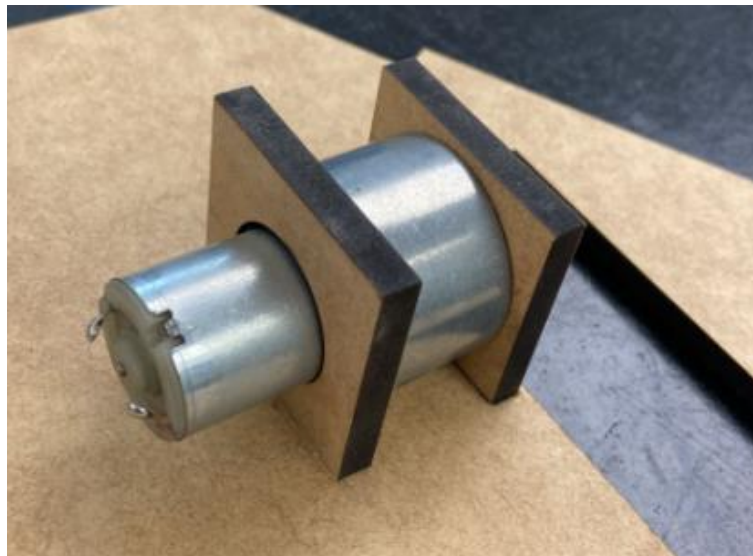
O robô é movimentado por dois motores DC de 4.5 V com alto torque (25 Kgf.cm) conectados a uma roda cada um. Como critério para selecionar os motores utilizados, foi calculado um torque mínimo necessário considerando um peso total de 9 Kg e rodas de motor com 10 cm de diâmetro, determinando um valor mínimo de 18 Kgf.cm em cada roda. Para realizar a conexão foi necessária a usinagem de dois eixos em um torno mecânico. Esses eixos foram projetados dentro do programa *SolidWorks*, como representado na Figura 9, e possuem dois furos para fixar o eixo do motor por meio de um parafuso e uma extremidade roscada para que seja possível fixar a roda utilizando uma porca. Para conectar os motores com a base foram desenhados e cortados dois mancais por motor, demonstrados na Figura 10. Como forma de equilibrar o robô e distribuir o peso, rodas de apoio (não conectadas a nenhum dos motores) são utilizadas. O sistema de movimentação finalizado está exibido na Figura 11.

Figura 9 - Eixo Para Motor e Roda



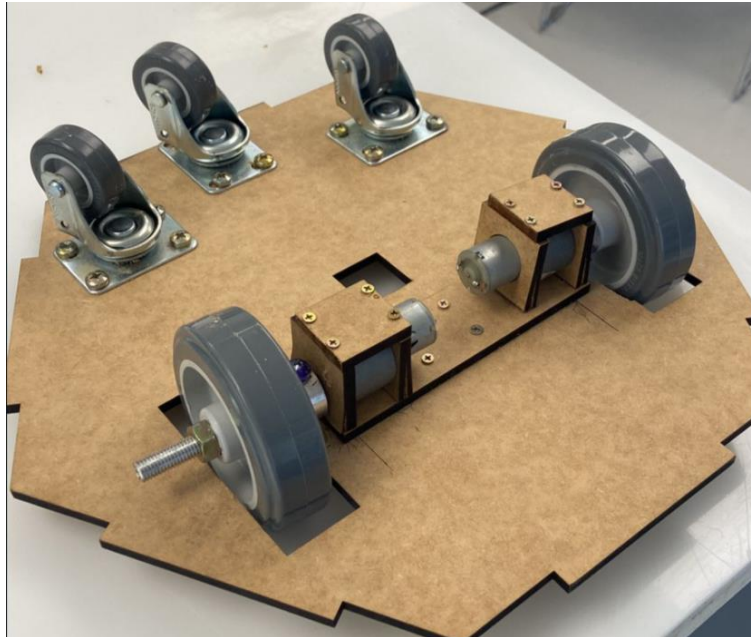
Fonte: Autores (2022)

Figura 10 - Mancais Acoplados ao Motor



Fonte: Autores (2022)

Figura 11 - Eixo, Roda e Motor Conectados



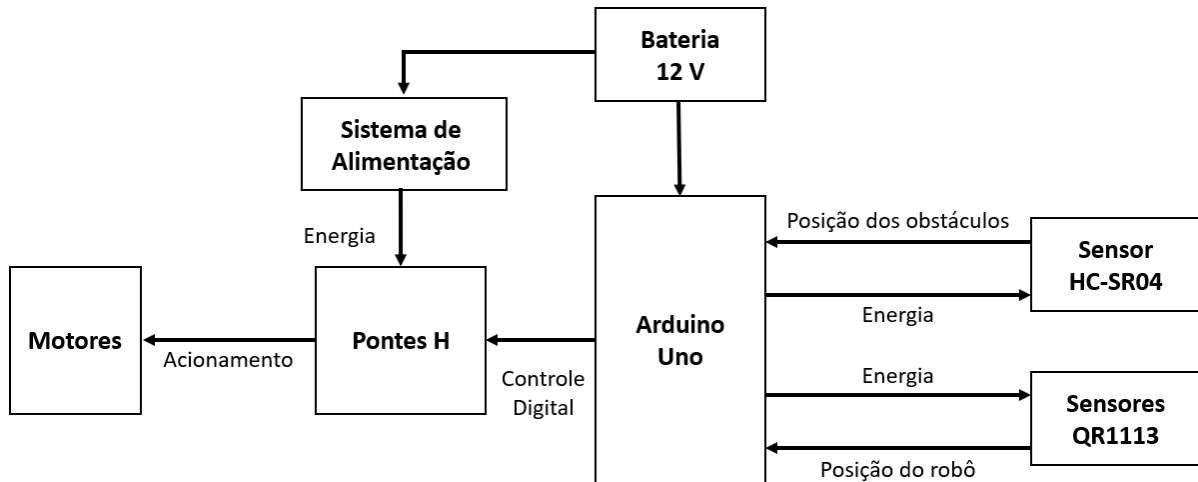
Fonte: Autores (2022)

Para definir o posicionamento das rodas na base, foram feitas adaptações a um livro introdutório de robôs autônomos (SIEGWART e NOURBAKHS, 2004, p. 34-36) que contém uma seção descritiva de possíveis configurações para veículos sob rodas.

### 3.3 Hardware

A elaboração do hardware eletrônico se deu por uma série de etapas de desenvolvimento, passando por sistema de alimentação, movimento e sensoriamento. O diagrama de blocos na Figura 12 demonstra de forma simplificada a conexão entre componentes eletrônicos, sendo estes explicados nas seções a seguir.

Figura 12 – Diagrama de Blocos do Hardware

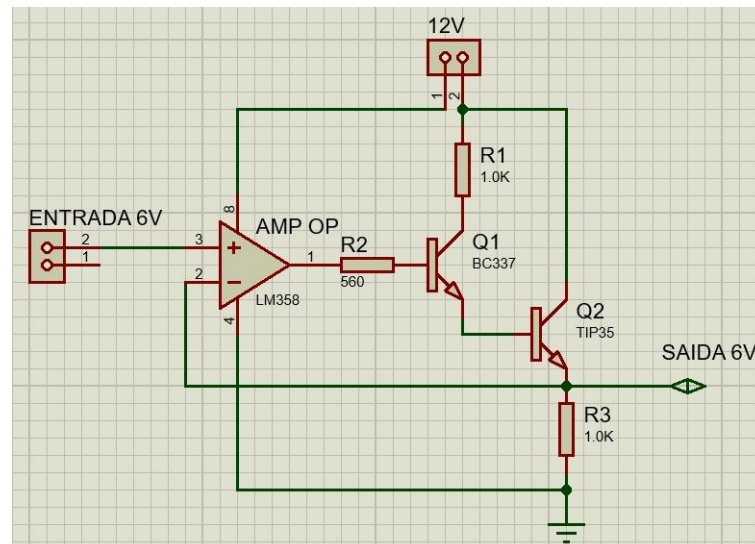


Fonte: Autores (2022)

### 3.3.1 Alimentação

Os componentes eletrônicos do robô são todos alimentados por uma bateria de 12V, porém as diferentes tensões de funcionamento dos componentes fazem com que seja necessário um sistema regulador. A Figura 13 demonstra o sistema utilizado como regulador.

Figura 13 – Diagrama de blocos do Sistema de Alimentação



Fonte: Autores (2022)

O objetivo deste sistema é gerar uma tensão constante de 6 V a partir da bateria de 12 V. O amplificador operacional LM358 fecha a malha do sistema para que seja possível manter a tensão do emissor do transistor de potência TIP35 (descrita como “SAÍDA 6V” no diagrama) igual à tensão de referência (“ENTRADA 6V”), porém este amplificador não possui capacidade para fornecer a quantidade de corrente necessária para a base do TIP35, então é necessário o uso de um transistor de baixa potência BC337 na saída do amplificador para que seu emissor forneça corrente suficiente para a base do TIP35. Os valores dos resistores e suas posições foram determinados de forma empírica, e o circuito foi testado dentro do programa *Proteus* antes de ser impresso em placa de cobre e verificado com uma fonte e multímetro para garantir seu funcionamento. Após realizar estes testes, o sistema foi conectado a uma década resistiva para verificar a temperatura dos componentes quando submetidos a correntes altas, e foi determinado que seria necessário conectar um dissipador térmico ao TIP35 para evitar possíveis danos por aquecimento.

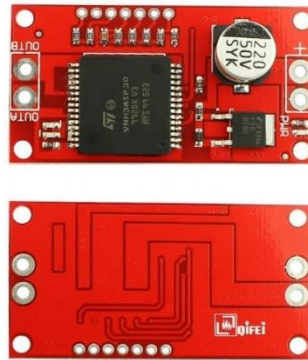
Devido ao fato de que a entrada de referência do amplificador operacional não consome uma corrente alta, foi possível produzir a tensão de referência utilizando um divisor de tensão composto por dois resistores de  $1k\ \Omega$  em série conectados à bateria, onde pode-se adquirir uma tensão de 6 V constante conectando um fio entre estes resistores. Os valores acabam sendo um pouco superior à 6 V pois a bateria em si tem uma tensão medida de aproximadamente 12,8 V, porém os efeitos desta diferença foram considerados durante a programação da placa microprocessada.

### **3.3.2 Ponte H**

Cada motor é alimentado por uma ponte H modelo VNH3SP30, demonstrada na Figura 14, que possibilita o controle da velocidade e direção da rotação por meio do acionamento das portas digitais da placa. Este modelo foi escolhido por motivos de segurança, pois possui um limite de corrente significativamente superior ao valor atingido pelos motores durante o funcionamento do robô (limite de 30A)



Figura 14 - Ponte H



Fonte: USINAINFO (2022)

### 3.3.3 Controlador

O controlador utilizado para receber as informações dos sensores e acionar as pontes H com o objetivo de manter o AGV em um trajeto reto em cima da linha é a placa microcontrolada Arduino Uno, representada na figura 15. Entre as portas do Arduino, são utilizadas: as saídas digitais, para controlar a direção de movimento; as saídas analógicas (são as saídas PWM, *Pulse Width Modulation*, que geram um sinal lógico alto em uma frequência determinada pelo usuário), para controlar a velocidade do movimento; as entradas digitais, para receber o sinal produzido pelos botões que determinam as mesas dos clientes; as entradas analógicas, para receber os sinais produzidos pelos sensores.

Figura 15 - Arduino Uno



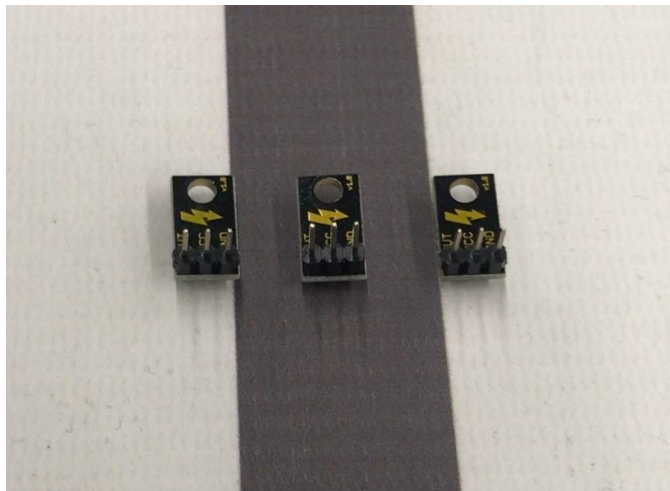
Fonte: Robocore (2022)

A programação que relaciona estas entradas e saídas será descrita com mais detalhes na seção de software.

### 3.3.5 Sensores

Os sensores utilizados foram escolhidos devido à precisão e custo baixo destes, retomando o objetivo de manter o robô acessível. Para observar a posição do robô em relação à linha do trajeto foram utilizados três sensores de refletância QR1113 posicionados em frente ao chão, fixados no veículo na disposição representada na Figura 16.

Figura 16 - Sensores QR1113



Fonte: Autores (2022)

Este posicionamento dos sensores permite que seja possível identificar a posição do robô em relação à linha (por exemplo: se somente o sensor da direita está identificando a linha, significa que o centro do robô está à esquerda da linha).

Para poder evitar colisões durante o seu trajeto o AGV possui um sensor ultrassônico HC-SR04, como demonstrado na Figura 17, que obtêm uma estimativa da distância entre o robô e o obstáculo mais próximo por meio de uma biblioteca do Arduino,

Figura 17 - Sensor HC-SR04



Fonte: Robocore (2022)

### 3.3.6 Botões

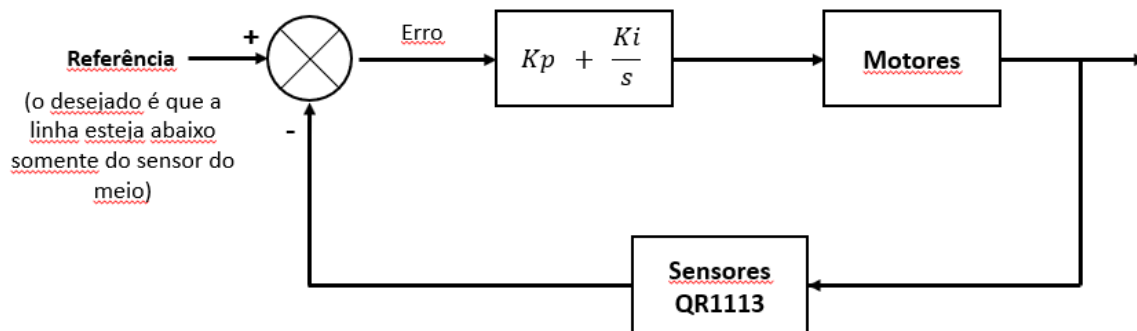
Para poder informar ao AGV a mesa que fez o pedido, são utilizados botões simples alimentados pelo Arduino que retornam um valor lógico alto quando pressionados. O robô também possui um interruptor conectado entre a bateria e o sistema de alimentação, com o objetivo de poder ligar e desligar completamente todo o sistema.

### 3.4 Software

Todo o código de controle do robô foi feito por meio do Arduino IDE e funciona com base em duas funções que ocorrem a cada 0,1 segundos (tempo determinado utilizando um temporizador interno da placa). A primeira função verifica o valor lido em cada sensor e determina a posição do robô em relação à linha preta, sendo então necessário analisar o sinal destes sensores sob a pista, neste caso por meio da porta serial da placa microcontrolada, e determinar um valor como representativo da cor preta.

A segunda função utiliza a posição atual do robô para ajustar as velocidades das rodas por meio de um controlador PI. O controle escolhido foi Proporcional e Integral devido a dois motivos: O controle somente proporcional realiza mudanças muito rápidas de velocidade, gerando um movimento brusco e pouco suavizado; e o controle derivativo, além de possuir um impacto pouco significativo para esta aplicação, pode acabar piorando a qualidade do controle devido aos ruídos gerados durante o processo de determinação da posição do AGV (WILLIS, MJ, 1999). O controle PI implementado está representado na Figura 18.

Figura 18 - Diagrama de Blocos do Sistema de Controle



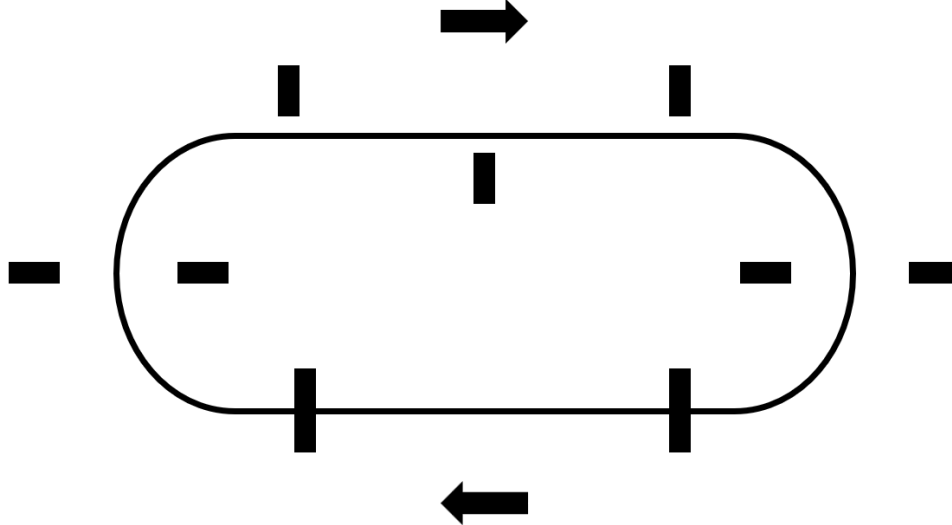
Fonte: Autores (2022)

Como representado na figura, o Arduino calcula o erro com base nos sensores e altera a velocidade das rodas utilizando este erro e as constantes  $K_p$  e  $K_i$ . O  $K_p$  somente multiplica o valor do erro e, dependendo da roda e a posição atual do robô, soma ou subtrai este valor da velocidade das rodas, enquanto o  $K_i$  multiplica um valor que representa a integral do erro ao longo de seu funcionamento. O código a seguir é o utilizado para calcular a integral do erro e subsequentemente as velocidades das rodas (setpot1 e setpot2).

```
void controle_pi() {
  integral = integral2 + 0.5 * 0.1 * (erro + erro2);
  integral2 = integral;
  erro2 = erro;
  setpot1 = pwm_inicial_esq + Kp * erro + Ki * integral;
  setpot2 = pwm_inicial_dir - Kp * erro - Ki * integral;
  analogWrite(pwm_esq, setpot1);
  analogWrite(pwm_dir, setpot2);
}
```

Inicialmente foram realizados ensaios utilizando valores baixos para  $K_p$  e  $K_i$ , sendo estes então alterados repetidamente com base nos resultados dentro da pista de testes representada na Figura 19, sempre com o objetivo de manter o movimento suavizado sem comprometer a velocidade do robô. A pista representa um caminho esperado para um contexto comum do AGV, onde as setas são ilustrativas da direção do movimento e as marcações, presentes fisicamente na pista, possuem dois propósitos: determinar a posição de cada mesa (marcações ao lado das linhas) e determinar os locais de entrada e saída da cozinha (marcações dentro da linha).

Figura 19 - Representação da Pista de Ensaio

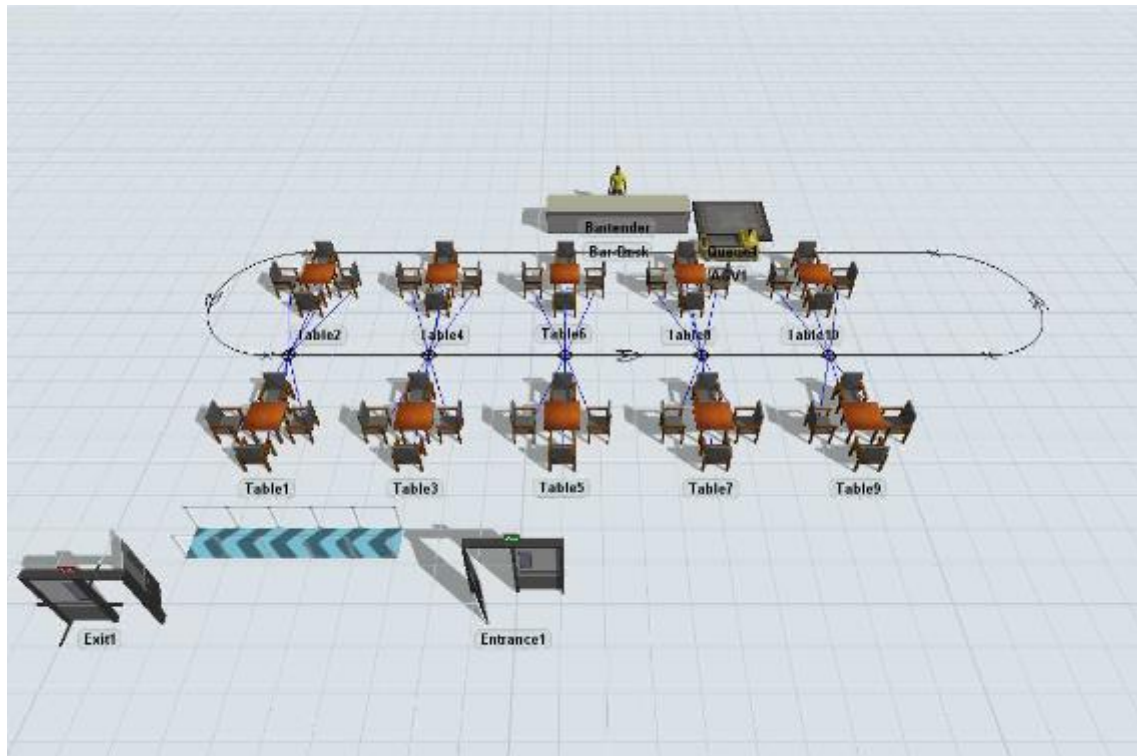


Fonte: Autores (2022)

Para determinar a mesa para qual o pedido pertence, os botões do robô anteriormente mencionados possuem uma relação com as marcações externas à linha guia, sendo necessário então determinar esta relação na programação da placa para que o robô possa reconhecer as mesas de acordo com o acionamento dos botões.

É importante destacar que o trajeto do robô deve ser contínuo, sendo necessário posicionar as mesas do restaurante de forma que seja possível para o robô alcançar todas as mesas após iniciar seu trajeto na cozinha ou qualquer ponto de carregamento das bandejas. A Figura 20 apresenta uma simulação de um restaurante adaptado para que um AGV possa retirar pedidos no balcão do *bartender* e entregá-los para qualquer uma das mesas por meio da linha contínua que passa entre elas.

Figura 20 - Exemplo de Restaurante Adaptado para o Robô Garçom



Fonte: Gustavo, Leonardo e Lukas (2021)

### 3.5 AUTONOMIA

Foi escolhida uma bateria chumbo-ácido Unipower 12 V 5 Ah devido ao seu volume, visto que a bateria precisa ser pequena o bastante para encaixar dentro do espaço da base junto aos componentes eletrônicos e rodas de motor, e por ser econômica (CARNEIRO et al.,2017), novamente alinhando os componentes com o objetivo de baixo custo do protótipo. Outro benefício do uso destas baterias é a possibilidade de recarga (RONTEK, 2021).

Após a construção final do robô a corrente total consumida foi verificada por meio de fontes externas e multímetros, para então definir a duração da bateria em uma aplicação real. A corrente consumida foi medida como aproximadamente 1,4 A, e considerando a capacidade de 5 Ah da bateria é possível calcular uma duração de aproximadamente três horas e trinta minutos.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a adaptação final da programação por meio de testes utilizando o protótipo completo, demonstrado na Figura 21 com a inclusão de um apoio para copos na bandeja superior, foi possível observar aspectos positivos do funcionamento do protótipo além de clarificar oportunidades de melhoria para possibilitar uma implementação efetiva deste projeto como um produto no mercado de restaurantes.

Figura 21 - Protótipo Final do Robô Garçom



Fonte: Autores (2022)

Ao que tange o desempenho mecânico do robô, foi observado acuracidade e repetibilidade na movimentação ao longo do trajeto desenhado, ou seja, o robô se distancia pouco da linha em trajetos retos, porém em curvas mais acentuadas acabou ficando um pouco mais distante da linha, mesmo que ele sempre a encontre novamente. Vale ressaltar que em 100% dos testes, o robô parou em caso de objetos ou pessoas em seu caminho.

De forma geral, pode-se observar como o AGV percorre seu trajeto com fluidez por conta do controle implementado e é capaz de realizar este processo com acurácia e repetitividade utilizando uma linha preta com fundo branco em ambientes com diferentes luminosidades, como comprovado por testes realizados facilitando sua implementação e estando apto a lidar com obstáculos em seu caminho.





## **5. CONCLUSÕES**

Para cumprir com os objetivos do projeto, o planejamento e gestão do tempo disponível foi de extrema importância pelas adversidades encontradas durante seu desenvolvimento. Adicionalmente, para conciliar todas as atividades e resoluções de problemas, a divisão de tarefas entre os integrantes do grupo foi de extrema importância. A primeira dificuldade encontrada ocorreu durante a construção da base, mais especificamente dos mancais de fixação dos motores, de maneira que eles suportassem o peso do robô e que as rodas ficassem com suas alturas alinhadas entre si; já a segunda se deu durante o desenvolvimento do esquema elétrico, onde a equipe enfrentou dificuldade de organização na construção.

O AGV construído funciona como o esperado seguindo seu trajeto até o destino, com algumas ressalvas para o controle, visto que um melhor ajuste e precisão de velocidade e posição precisarão das melhorias que serão sugeridas adiante. O protótipo apresenta considerável potencial de implementação efetiva no mercado, porém tais melhorias se tornam necessárias na transformação do mesmo em um produto, demonstrando a importância da fase de prototipação dentro do desenvolvimento do projeto para que seja possível determinar as necessidades do mesmo.

No geral, a montagem do Robô Garçom foi de extrema aprendizagem, enfatizando as teorias vistas em sala de aula ao longo do curso proporcionando uma imensa satisfação ao concluir o projeto tendo em vistas os desafios que apareceram. Assim, a realização do trabalho trouxe um grande aprendizado prático e de fundamentos teóricos para todos os integrantes da equipe, complementando a formação no curso de Engenharia.

### **5.1 MELHORIAS**

Após análise dos resultados obtidos com o desenvolvimento deste projeto, além das qualificações encontradas também é possível definir oportunidades de melhorias com o intuito de tornar o robô um produto implementável no nicho de mercado proposto. Dentre elas:

- Utilização de aço inoxidável como material de seu chassi, aumentando a resistência do mesmo e facilitando a limpeza do produto para torná-lo mais higiênico, uma vez que sua principal função é lidar com o transporte de alimentos em locais públicos. Contudo, a utilização deste material implica em mudanças no modelo de construção, exigindo uma estrutura montada por soldagem, ao invés da montagem realizada por encaixe entre as peças;
- Aumento do número de sensores de refletância para melhor controle, uma vez que ele é realizado através da posição do robô; quanto maior o número de pontos (posições) dentro do sistema, melhor a acurácia do movimento seguinte perante a posição atual;
- Aumento do número de sensores ultrassônicos em diferentes ângulos da base para que a “visão” do robô seja 360°, diminuindo o risco de colisão mesmo que o obstáculo não esteja necessariamente na direção frontal do AGV;
- Utilização de motores com encoder, para que seja possível o controle da velocidade juntamente com o controle da posição (explicado anteriormente), possibilitando um movimento mais estável e ágil ao longo da linha;
- Implementação de sistema de comunicação entre usuários e o Robô Garçom, através de um software multiplataforma.

## 6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. **Público volta e restaurantes faturam mais**. Abrasel, 2022. Disponível em: <<https://abrasei.com.br/noticias/noticias/publico-volta-e-restaurantes-faturam-mais/>>. Acesso em: 16 de maio 2022.

CARNEIRO, R. L. et al. **Aspectos essenciais das Baterias Chumbo-Ácido e Princípios Físico-Químicos e Termodinâmicos do seu Funcionamento**. Universidade do Sagrado Coração. São Paulo. 2017

FAVARIM, F. et al. **Controle Híbrido de um Robô Autônomo Seguidor de Linha: Projeto e Implementação**. Departamento Acadêmico de Informática. Paraná. 2019.

FIEL, E. et al. **Robçom, o Robô Garçom**. UTFPR, 2018. Disponível em: <[http://silverio.net.br/heitor/disciplinas/oficina3/relatorios/EEX23\\_RT\\_Robcom.pdf](http://silverio.net.br/heitor/disciplinas/oficina3/relatorios/EEX23_RT_Robcom.pdf)>. Acesso em: 13 de março 2022.

GALDAMES, J. P. M. **Sistemas de localização para AGVs em ambientes semelhantes a armazéns inteligentes**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2011.

INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. **Executive Summary World Robotics 2018 Service Robots**. Frankfurt, 2019. Disponível em: <[https://ifr.org/downloads/press2018/Executive\\_Summary\\_WR\\_Service\\_Robots\\_2018.pdf](https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_Service_Robots_2018.pdf)>. Acesso em: 10 de dezembro 2022.

JIBRAIL, S. F; MAHARANA, R. **PID CONTROL OF LINE FOLLOWERS**. Rourkela. Odisha. 2013.

LAUAND, S. **Bares e restaurantes voltam a funcionar sem limite de horário em SP**. CNN Brasil, 17 agosto 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/bares-e-restaurantes-voltam-a-funcionar-sem-limite-de-horario-em-sp/>>. Acesso em: 16 de maio 2022.

MOSHAYEDI, A. J.; LI, J.; LIAO, L. **AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance**. Journal of Simulation & Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering. 2019.

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **Human Augmentation Research Center**. Human Augmentation Research Center, 2018. Disponível em: <<https://unit.aist.go.jp/harc/en/index.html>>. Acesso em: 27 de fevereiro 2022.

PEREIRA, L. M. M. et al. **Robô de competição de categoria seguidor de linha utilizando algoritmo PID e plataforma Arduino**. Instituto Federal do Piauí. Piauí. 2014.

RAYNER, R. **AGV navigation methods 2: virtual path following**. BlueBotics. Saint-Sulpice. 2021. Disponível em: <<https://bluebotics.com/agv-navigation-methods-virtual-path-following/>>. Acesso em: 11 de dezembro de 2022.

ROBOCORE. **Placa Uno R3**. São Paulo, 2022. Disponível em <<https://www.robocore.net/placa-arduino/placa-uno-r3>>. Acesso em: 6 de setembro de 2022.

ROBOCORE. **Sensor Ultrassônico – HC – SR04**. São Paulo, 2022. Disponível em <<https://www.robocore.net/sensor-robo/sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04>>. Acesso em: 6 de setembro de 2022.

RUDIGER, G. T.; MENEGHINI, L.; BASCHTA, L. E. **Estudo de Caso de implementação de sistema de atendimento para restaurantes e bares — Bodega 4.0**. Universidade Federal do Paraná. Paraná. 2021.

SHIMMURA, T. et al. **Service robot introduction to a restaurant enhances both labor productivity and service quality**. College of Gastronomy Management. Shiga, Japão, p. 6. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221282712030425X> >. Acesso em: 17 de março 2022.

SIEGWART, R; NOURBAKHSI, I. R. **Introduction to Autonomous Mobile Robots**. 2. Ed. Edição. Massachusetts: The MIT Press , p 34-36. 2004.

STMICROELECTRONICS. **VNH2SP30 Datasheet**. Genebra. 2004. Disponível em: <<https://www.st.com/en/automotive-analog-and-power/vnh2sp30-e.html>>. Acesso em 11 de dezembro de 2022.

THE WORLD BANK. **World Development Indicators – Services, value added**. Washington D.C., 2021. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/NV.SRV.TOTL.ZS>>. Acesso em: 18 de setembro de 2022.

USINAINFO. **Ponte H Bridge Motor 30A VNH3ASP30**. Rio Grande do Sul, 2022. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/driver-para-motor/ponte-h-bridge-motor-30a-vnh3asp30-55-a-16vdc-4606.html>>. Acesso em: 2 de outubro de 2022.

WILLIS, M. K. **Proportional-Integral-Derivative Control**. University of Newcastle. Newcastle. 1999. Disponível em: <<http://educyclopedia.karadimov.info/library/PID.pdf>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2022.

## TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE INCLUSÃO DO NOME DOS AUTORES NA DIVULGAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Manifestamos nossa opção individual pela inclusão (SIM) ou omissão (NÃO) dos nossos nomes como autores do Trabalho de Conclusão de Curso, a seguir identificado, quando da inserção do mesmo no Repositório Institucional do IMT para divulgação pública.

INTEGRANTE (AUTOR) DO TCC		RA	SIM	NÃO
1	Lorenzo Tosi Pinto Caldeira	18.00468-7	X	
2	Leonardo Moraes Ayres da Silva	18.00526-8	X	
3	Pedro Angelotti Abreu	17.01300-3	X	
4	Igor Pamponet dos Santos Alves	16.04186-0	X	
5				
6				

Título do TCC: AGV de Serviço – Robô Garçom	Cod.do TCC: CAD02
Prof. Orientador: Dr. Paulo Alexandre Martin	Ano do TCC: 2022

Na falta de entrega dessa autorização, ou opção da omissão por todos os autores, será indicado o nome do Prof. Orientador(a) como autor nos registros bibliográficos.

São Caetano do Sul, 12 de dezembro de 2022.

*Lorenzo Tosi Pinto Caldeira*

Ass. do autor 1

*Leonardo M. Ayres da Silva*

Ass. do autor 2

*Pedro*

Ass. do autor 3

*Igor Pamponet dos Santos Alves*

Ass. do autor 4