

Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade De Engenharia

Curso de Engenharia Eléctrica

**PROPOSTA DE UM VEÍCULO AUTO-GUIADO PARA O  
TRANSPORTE DE CARGAS INDUSTRIAIS NA FÁBRICA DE  
BLOCOS DE NDLAVELA**

Autor:

Nhamunze, Delton Geraldo

Supervisor:

Eng. Zefanias José Mabote

**Maputo, Agosto de 2022**

Universidade Eduardo Mondlane

Faculdade De Engenharia

Curso de Engenharia Eléctrica

**PROPOSTA DE UM VEÍCULO AUTO-GUIADO PARA O  
TRANSPORTE DE CARGAS INDUSTRIAIS NA FÁBRICA DE  
BLOCOS DE NDLAVELA**

Autor:

Nhamunze, Delton Geraldo

Supervisor:

Eng. Zefanias José Mabote

**Maputo, Agosto de 2022**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tese aos meus pais por nunca terem poupado esforços para garantir a minha formação, pela resiliência que apresentaram nos momentos mais difíceis e a minha querida tia Patrícia Manuel Chinolene que foi uma verdadeira heroína nesta trajetória desde o nascimento até então.

## **AGRADECIMENTO**

Em primeiro lugar agradecer aos meus pais (Marta Manuel Chinolane e Geraldo Almoço Nhamunze) que foram e tem sido o meu suporte nesta caminhada, a minha tia Patrícia Manuel Chinolane pelo imensurável suporte que deu neste percurso e por acreditar sempre no meu potencial, aos meus primos (Manuel Bimbe, Titos Matsinhe (Wilma Matsinhe, Amasia Siteo), aos meus amigos (Yassine Nhanala e Nilton Nhanombe) e a todos que directa ou indirectamente ajudaram-me nesta caminhada.

Finalmente um agradecimento especial ao supervisor, Engenheiro Zefanias José Mabote, por todo auxílio dado nos dois últimos trabalhos que desenvolvi sob sua supervisão, encaro todo o trabalho feito como uma formação adicional pois aprendi bastante, com ele, neste período.

## **RESUMO**

O uso da automação na logística dos materiais pode reduzir bastante o tempo das operações, aumentar a eficiência no uso do espaço físico resultando em uma melhor dinâmica dos processos fabris. O uso de sistemas não automatizados, como o caso de carrinhos-de-mão ou empilhadeiras resulta não só no elevado tempo dos processos fabris, baixa eficiência, mas também em acidentes por motivos de distração, acelerações e indisciplina, daí que surge a necessidade de automatizar o processo de transporte de carga usando veículos guiados automaticamente, na fábrica de blocos de Ndlavela como forma de reduzir as perdas no transporte destes da máquina de produção à área de secagem, melhorando a eficiência, a eficácia pela rápida resposta que o novo sistema trará. Esta solução vai de igual forma reduzir os acidentes e os impactos ambientais que se verificam como consequência da emissão de CO<sub>2</sub>. Para que efectivamente se consiga reduzir ou limitar todos os inconvenientes supracitados projectou-se um veículo eléctrico guiado automaticamente, independente da acção humana e inteligente o suficiente para tomar decisões no decurso das adversidades que poderá enfrentar durante o seu percurso na fábrica. A forma metodológica seguida para alcançar este objectivo é do tipo qualitativa e quantitativa, pois parte-se de dados concretos para fazer o dimensionamento deste e conclui-se com uma análise de resultados numéricos que permitiram constatar que esta é uma solução viável do ponto de vista económico. Esta pesquisa objectiva não só avaliar a viabilidade económica desta solução, mas também, efectuar uma exploração do assunto de transporte de cargas industriais usando veículos eléctricos independentes.

## **PALAVRAS-CHAVE**

AGV, Logística, Automação, controlo e veículos inteligentes.

## ÍNDICE

1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	1
1.2.	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.3.	JUSTIFICATIVA.....	2
1.4.	OBJECTIVOS .....	3
	<b>OBJECTIVO GERAL .....</b>	<b>3</b>
	<b>OBJECTIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
1.5.	METODOLOGIA.....	4
1.5.1.	Quanto a abordagem: A pesquisa é quantitativa .....	4
<b>1.5.2.</b>	<b>Quanto a natureza .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5.3.</b>	<b>Quanto ao objectivo .....</b>	<b>4</b>
<b>1.5.4.</b>	<b>Quanto aos procedimentos técnicos .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.5.</b>	<b>Quanto ao tipo .....</b>	<b>5</b>
<b>1.5.6.</b>	<b>Técnicas de recolha de dados .....</b>	<b>5</b>
1.6.	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	5
2.1.	VEÍCULOS ELÉCTRICOS.....	7
<b>2.1.1.</b>	<b>Aspectos técnicos .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.2.</b>	<b>Componentes.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.3.</b>	<b>Baterias .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4.</b>	<b>Outros componentes .....</b>	<b>9</b>
2.2.	SISTEMA DE TRACÇÃO ELÉCTRICA PARA VEÍCULOS .....	10
	ELÉCTRICOS PUROS .....	10
<b>2.2.1.</b>	<b>Princípios básicos de veículos automotivos .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.2.</b>	<b>Movimento veicular .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.3.</b>	<b>Resistência ao rolamento .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2.4.</b>	<b>Resistência aerodinâmica .....</b>	<b>12</b>

<b>2.2.5. Resistência ao aclave</b> .....	13
2.3. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS .....	13
<b>2.4. VEÍCULOS GUIADOS AUTOMATICAMENTE</b> .....	15
<b>2.4.1. Técnicas de Orientação em AGVs</b> .....	17
<b>2.4.2. Os principais tipos de AGVs são</b> .....	18
2.5. DIMENSIONAMENTO DO INVÓLUCRO .....	18
<b>2.5.1. Propriedades dos materiais metálicos ferrosos</b> .....	18
2.6. Dispositivo de controlo.....	19
<b>2.6.1. Sensor ultrassônico HC-SR04</b> .....	19
2.7. MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA.....	19
<b>2.7.1. Características mecânicas dos motores eléctricos</b> .....	20
<b>2.7.2. Características mecânicas de um motor de corrente contínua de excitação separada</b> .....	20
<b>Características no regime motor</b> .....	20
<b>2.8.4. Escolha do tipo de motor</b> .....	22
<b>2.8.5. Controlo de tensão nos motores de corrente contínua de excitação independente</b> .....	23
<b>2.8.5.1. Controlo pela tensão aplicada na armadura (V):</b> .....	23
<b>2.8.5.2. Métodos práticos para o controlo de velocidade pela tensão da armadura</b> 23	
2.9. CHOPPER .....	24
<b>CONVERSOR CLASSE E</b> .....	24
2.10. TÉCNICA DE MODULAÇÃO.....	25
<b>2.11. MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO (PWM)</b> .....	25
<b>2.11.1. Princípio de funcionamento do PWM</b> .....	26
2.12. CONTROLO E ORIENTAÇÃO DO VEÍCULO .....	26
2.12.1. MICROCONTROLADOR ARDUINO .....	26
<b>2.12.2. PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO</b> .....	26

<b>2.12.5. Placas do arduino</b> .....	27
3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	29
3.1. CARACTERÍSTICAS DO INVÓLUCRO .....	30
<b>3.2. Dimensionamento do invólucro</b> .....	31
3.2. DIMENSIONAMENTO DO MOTOR .....	33
<b>3.4. ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR ELÉCTRICO</b> .....	35
<b>3.5. Dados necessários para seleccionar o motor CC:</b> .....	35
3.7. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE MANOBRA E DE PROTECÇÃO DO MOTOR .....	37
3.8. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS .....	38
3.9. LAYOUT DA PLANTA.....	40
3.10. ARRANJO FÍSICO DOS COMPONENTES NO INTERIOR DO INVÓLUCRO (LAYOUT) .....	41
<b>3.12.1. Componentes do circuito</b> .....	43
<b>3.12.2. Controlo dos conversores choppers</b> .....	43
<b>3.11. Programação: Definição de variáveis</b> .....	43
<b>3.13.1. Pseudocódigo</b> .....	44
<b>5.14. Fluxograma</b> .....	45
<b>5.15. Código do programa em linguagem de máquina (Arduino)</b> .....	46
EMPILHADEIRAS E OS SISTEMAS USANDO AGV .....	50
CAPITULO V: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS.....	52
CAPITULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	56
<b>6.1. Conclusões</b> .....	56
<b>6.2. Recomendações</b> .....	58
<b>7. ANEXO</b> .....	61

## Lista de Figuras

Figura 1: (2.1): Forças actuando em um veículo .....	11
Figura 3: 2.3: Componentes de um AGV.....	16
Figura 4: 2.4: Classificação das técnicas de orientado em AGVs.....	17
Figura 5: 2.5: Tipos de AGVs (KOFF et al., 1985, MILLER, 1987).....	18
Figura 9: 2.9: Circuito equivalente do balanço de tensões para o motor de corrente contínua .....	20
Figura 10: (2.10): Características mecânicas dos motores de corrente contínua de excitação separada (e paralela). .....	21
Figura 11: 2.11: Chopper de 4 quadrantes ou ponte H .....	24
Figura 19: (2.19): Pinagem da placa UNO .....	28
Figura 21: (3.1): Protótipo do veículo construído.....	30
Figura 22: (3.2): a) Vista de lateral do veículo; b) Vista de frontal do veículo .....	31
Figura 23: (3.2): Vista de cima do veículo .....	32
Figura 24: (3.3): a) Eixos das rodas; b) Formato das rodas do veículo.....	32
Figura 25: (3.4): Layout da planta da fábrica.....	40
Figura 26: (3.5): Arranjo físico dos componentes interno do veículo .....	42

## Lista de Tabelas

Tabela 1: 2.1 faz uma análise comparativa dos principais parâmetros das diferentes tecnologias de baterias comumente usadas .....	9
Tabela 2: (2.2): O estado das chaves e dos díodos para operação de em quatro quadrantes .....	25
Tabela 3: 4.1 – Custos com o Sistema de Movimentação de Materiais com empilhadeiras .....	50
Tabela 4: 4.2 – Custos com o Sistema de Movimentação de Materiais com AGV. .	50

## **Lista de Abreviaturas**

AGV – Automated Guided vehicle;

CC – Corrente Contínua;

DC – Direct Current;

PWM – Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso);

*Nkm* – Número de quilómetros.

## Lista de símbolos

[V] – Volts;  
[A] – Amperes;  
[W] – Watts;  
Wh – Watts-hora;  
[N] – Newton (força);  
[m] – metros;  
[N.m] – Newton-metro;  
[g/cm<sup>2</sup>] – Grama por centímetro quadrado (peso específico dos corpos);  
[°C] – Graus Celsius;  
[s] – Segundos;  
[h] – Hora;  
[g] – Grama;  
 $\Phi$  – Fluxo do campo magnético [Weber];  
 $F_r$  – Força de resistência ao rolamento (N);  
M – Massa (kg);  
 $F_g$  – Força de gravidade (Active) (N);  
 $\alpha$  – Angulo de inclinação da superfície;  
 $A_f$  – Área da superfície frontal;  
 $F_W$  – Força de arrasto (N)  
 $\rho_a$  – Densidade do ar;  
 $v$  – Velocidade do veículo;  
 $v_w$  – Velocidade do ar;  
 $C_D$  – Coeficiente de Resistência aerodinâmica;  
 $f_r$  – Coeficiente de Resistência ao rolamento;  
 $C_{bat}$  – Capacidade da bateria;  
 $C_{necess}$  – Capacidade necessária nas baterias (Ah);  
 $E_{necess}$  – Energia necessária nas baterias (wh);  
 $DoD_{max}$  – Profundidade máxima de descarga;  
 $AD_{sem}$  – Percentagem de auto descarga semanal  
 $V_{bat}$  – Tensão do pack de baterias (V);  
 $nS$  – Número de baterias em série;

$nP$  – Número de baterias em paralelo;  
 $Cons_{méd}$  – Consumo médio do veículo (Wh/100m);  
 $Auton$  – Autonomia do pack de baterias;  
 $V_m$  – Tensão do sinal modulador do PWM (V);  
 $V_P$  – Tensão do sinal portador do PWM (V);  
 $V_T$  – Tensão de pico do sinal portador do PWM (V);  
 $T_S/f_s$  – período/ frequência do sinal gerado no PWM (s/ Hz);  
 $DT_S$  ou  $K$  – Razão cíclica do PWM;  
 $i_g$  – Relação de transmissão;  
 $J_W$  – Momento de inercia (kg.m<sup>2</sup>);  
 $P_{mec}$  – Potência mecânica necessário (W);  
 $P_{motor}$  – Potência do motor (W);  
 $\eta_{trans}$  – Rendimento da transmissão;  
 $\omega$  – Velocidade angular (rad/s);  
 $R$  – Resistência ( $\Omega$ );  
 $k_e$  – Constante eléctrica do motor;  
 $k_m$  – Constante mecânica do motor;  
 $M$  – Binário motor/ Torque (N.m);  
 $E$  – Tensão da armadura (V);

# **CAPITULO I- INTRODUÇÃO**

## **1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DO TEMA**

Os veículos eléctricos foram em princípio desenvolvidos com o propósito de transportar pessoas e cargas em longas distâncias, de um modo geral, é muito comum no quotidiano serem encontrados veículos híbridos, isto é, veículos que funcionam não só a base de um motor de combustão interna que (que é o primeiro desenvolvimento de veículos), mas também de um motor eléctrico (em geral de corrente contínua, que permite variar amplamente a velocidade, mas com o advento da electrónica de potência são actualmente empregues motores de indução trifásicos). Actualmente com o desenvolvimento industrial e comercial, estes veículos deixaram de restringir-se ao transporte de pessoas e cargas em longas distâncias e começaram a ser empregues em transporte de carga em pequenas distâncias (no ambiente fabril e comercial), e até então o mais comum de se ver nestes ambientes são as empilhadeiras que são traccionadas por motores de combustão interna, porém há uma nova tecnologia para o transporte de cargas industriais embora pouco difundida mas altamente eficiente do ponto de vista técnico e económico, é o transporte de cargas industriais usando veículos eléctricos guiados automaticamente, a serem implementados na fábrica de blocos de Ndlavela para a deslocação dos blocos do ponto de produção (Máquina) ao área de secagem.

A fábrica de blocos de Ndlavela é uma fábrica que se dedica a produção de blocos de concreto para alvenarias (com tamanhos de 10, 15 e 20), localizada no bairro de Ndlavela, na Cidade da Matola, 100 metros a esquerda da Escola Primaria Completa Samora Machel, ao pé da rua.

## **1.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA**

Quando o assunto é logística interna de materiais na indústria, desde o transporte da matéria-prima dos armazéns à uma das secções de produção, o transporte de uma secção de produção para outra onde as esteiras transportadoras são limitadas, até ao transporte do produto acabado aos respectivos armazéns, há sempre a

necessidade de fazer a melhor escolha do sistema de transporte a ser usado, este processo passa por uma avaliação técnica e económica. Os sistemas de transporte manuais ficaram obsoletos com o surgimento das empilhadeiras que vieram substituir eficientemente o trabalho humano, pelo facto de trazerem maior capacidade de transporte e serem mais rápidas, porém estes sistemas apresentam muitos inconvenientes tais como: o elevado custo do suprimento do combustível para mantê-los em funcionamento, dependência da mão-de-obra, a fraca dinâmica muitas vezes condicionada pela falta de experiência por parte do condutor, os riscos de acidentes condicionados não só pela falta de experiência, mas também por factores de distração, acelerações bruscas, indisciplina, etc. Outro factor a tomar em consideração é a emissão de CO<sub>2</sub> no ambiente fabril, por esses veículos (pois estes usam motores de combustão interna para tracção, sendo que estes funcionam a base de combustíveis fósseis como gás natural ou gasolina). Todos os factores indicados condicionam a inviabilização deste que é o sistema de transporte mais comum na indústria, é neste âmbito que surge a seguinte questão:

*De que forma se pode transportar internamente blocos de concreto, na fábrica de Ndlavela, da forma mais económica possível, reduzindo o risco de acidentes e com o menor impacto ambiental?*

### **1.3. JUSTIFICATIVA**

Quando se fala em transporte interno de materiais na indústria o primeiro sistema que nos vem à mente é o sistema com empilhadeiras que é o mais comum na indústria moderna, ainda com todos os inconvenientes citados acima é o preferencial pois poucas indústrias estão tecnicamente preparadas e/ou têm consciência da tecnologia de veículos eléctricos guiados automaticamente que é uma nova solução adoptada para o transporte interno de carga.

O uso de veículos eléctricos guiados automaticamente apresenta-se como a melhor solução pelo que: do ponto de vista técnico, irá contornar a dificuldade que se tem em transportar a carga em pouco tempo, dinamizando a produção.

Do ponto de vista económico, esta solução poderá reduzir as perdas no percurso que a carga faz da máquina de produção à área de secagem pelo facto de estes veículos moverem-se à velocidade constante e serem inteligentes o suficiente para evitar

acidentes, redução do custo com a fonte de energia, pois uma vez recarregada a bateria o veículo irá funcionar por um tempo de 4 horas sem consumir energia da rede diferentemente dos motores de combustão interna que precisam ser permanentemente alimentados por combustível e teremos a mão-de-obra para pilotagem eliminada.

Do ponto de vista ambiental, esta solução apresenta melhor segurança que os sistemas com empilhadeiras pois irá reduzir ou eliminar por completo o risco de acidentes e eliminar por completo a emissão de CO<sub>2</sub>, no ambiente fabril (promovendo um meio mais ecológico).

Esta é uma pesquisa que irá agregar valor trazendo resultados de novas pesquisas no ramo de sistemas automatizados para o transporte de carga e os seus resultados poderão ser usados como fonte bibliográfica por estudantes e profissionais da área de automação (robótica móvel, concretamente) e poderá de igual forma ser consultada por indústrias que queiram implementar ou avaliar o uso de sistemas automatizados de transporte de carga em substituição dos sistemas convencionais com empilhadeiras ou qualquer outro sistema.

## **1.4. OBJECTIVOS**

### **OBJECTIVO GERAL**

- Projectar um veículo eléctrico auto-guiado para o transporte de cargas industriais na fábrica de blocos de Ndlavela.

### **OBJECTIVOS ESPECÍFICOS**

- Dimensionar a estrutura do veículo;
- Selecionar os motores de tracção;
- Selecionar os dispositivos para o controlo automático;
- Apresentar os circuitos de força e de controlo;
- Fazer uma análise comparativa entre os sistemas usando empilhadeiras e os sistemas usando AGV (do Inglês Automated Guided vehicle);

## **1.5. METODOLOGIA**

### **1.5.1. Quanto a abordagem: A pesquisa é quantitativa**

#### **1.5.1.1. Pesquisa quantitativa:**

“Esta é aquela que considera que existe uma relação entre o mundo e o sujeito traduzida em números. Então essa modalidade de pesquisa é descritiva, a partir de análises, de maneira geral, dedutiva. Neste caso, as técnicas de recolha de dados são mais rígidas e mais objectivas.”, (LAKATOS e MARCONI, 2003).

Esta pesquisa equandra-se nesta categoria pois o objectivo central é projectar um veículo eléctrico, mas esta termina com uma análise de viabilidade económica desta solução, ou seja, os resultados são quantificáveis.

### **1.5.2. Quanto a natureza**

Quanto a natureza a pesquisa é do tipo aplicada, segundo COELHO, a pesquisa aplicada objectiva gerar conhecimento para aplicações práticas com o objectivo de solucionar problemas específicos. No caso em estudo o problema seria o elevado custo do uso dos sistemas com empilhadeiras, risco de acidentes e o impacto ambiental.

### **1.5.3. Quanto ao objectivo**

A pesquisa é exploratória

Segundo (GIL, 2007) citado por (ZANELLA, 2013), Esta tem a finalidade de ampliar o conhecimento a respeito de um determinado fenómeno. Esse tipo de pesquisa, aparentemente simples, explora a realidade buscando maior conhecimento, para depois planejar uma pesquisa descritiva. A pesquisa desenvolvida enquadra-se nesta categoria pois esta visa gerar conhecimentos fundamentais inerente a tecnologia eletromecânica de construção de veículos eléctricos guiados automaticamente.

#### **1.5.4. Quanto aos procedimentos técnicos**

Esta assume a forma de estudo de caso. O Estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objectivos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento. Pois foram consultadas referências bibliográficas e artigos científicos que abordam a automação de sistemas eléctricos para o transporte de cargas industriais.

#### **1.5.5. Quanto ao tipo**

Pesquisa experimental: “Todos os estudos desse tipo utilizam projectos experimentais que incluem os seguintes factores: grupos de controlo (além do experimental), selecção da amostra por técnica probabilística e manipulação das variáveis independentes com a finalidade de controlar ao máximo os factores pertinentes.”, (LAKATOS e MARCONI, 2003).

#### **1.5.6. Técnicas de recolha de dados**

As técnicas que conduziram a recolha de dados para a presente pesquisa foram a observação directa intensiva e a pesquisa bibliográfica. A primeira é realizada através de duas técnicas: observação e entrevista. “Entrevista padronizada ou estruturada é aquela em que o entrevistador segue um roteiro previamente estabelecido; as perguntas feitas ao indivíduo são pre-determinadas. Ela se realiza de acordo com um formulário elaborado e é efectuada de preferência com pessoas selecionadas de acordo com um plano” (LAKATOS e MARCONI, 2003).

### **1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO**

**Capítulo I:** Apresenta a contextualização, a problemática, a justificativa, objectivos e metodologia de pesquisa.

**Capítulo II:** Apresenta o referencial teórico, que sustenta esta pesquisa (são aqui feitas, referências ao princípio de veículos eléctricos, o sistema de tração destes, as formas de alimentação e o controlo de velocidade dos motores de corrente contínua

e ao microcontrolador Arduino, que constitui o “cérebro” por de trás do controlo do veículo).

**Capítulo III:** Apresenta o memorial justificativo do projecto (Neste capítulo são apresentados todos os cálculos que justificam cada escolha feita na elaboração do presente projecto, as ilustrações e a programação do microcontrolador Arduino).

**Capítulo IV:** Apresenta as especificações técnicas dos equipamentos (São apresentados neste capítulo os principais parâmetros técnicos destes equipamentos)

**Capítulo V:** Apresenta Análise de viabilidade económica (tem-se neste capítulo uma análise comparativa entre as convencionais empilhadeiras e os AGVs).

**Capítulo VI:** Apresenta as conclusões e recomendações.

## CAPITULO II - REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. VEÍCULOS ELÉCTRICOS

A história dos carros eléctricos começa em meados do século XIX. De acordo com Hoyer (2008), citado por BARAN e LEGEY, ela está intimamente relacionada à história das baterias. Em 1859, o belga Gaston Planté realizou a demonstração da primeira bateria de chumbo e ácido. Esse equipamento veio a ser utilizado por diversos veículos eléctricos desenvolvidos a partir do início da década de 1880 na França, EUA e Reino Unido. Em 1885, Benz demonstrou o primeiro motor de combustão interna. Em 1901, Thomas Edison, interessado no potencial dos veículos eléctricos, desenvolveu a bateria níquel-ferro, com capacidade de armazenamento 40% maior que a bateria de chumbo, só que com custo de produção muito mais elevado. As baterias níquel-zinco e zinco-ar foram também criadas no final do século XIX.

Além das baterias, duas tecnologias desenvolvidas entre 1890 e 1900 contribuíram para melhorar o desempenho dos carros eléctricos: a frenagem regenerativa, um equipamento capaz de transformar a energia cinética do automóvel em movimento em energia eléctrica durante uma frenagem e o sistema híbrido a gasolina e electricidade.

#### 2.1.1. Aspectos técnicos

Um veículo eléctrico é aquele traccionado por pelo menos um motor eléctrico. Enquanto os veículos com motor a combustão interna podem ter um motor eléctrico, só nos eléctricos é que ela estará directa ou indirectamente ligado à tracção do veículo. Os motores eléctricos em veículos a combustão interna normalmente estão ligados a sistemas periféricos, como o accionamento de vidros eléctricos.

Os veículos puramente eléctricos não têm um motor a combustão. São integralmente movidos por energia eléctrica, seja provida por baterias, por células de combustível, por placas fotovoltaicas (energia solar) ou ligados à rede eléctrica, como os *trólebus*. Entre esses, a maioria dos

lançamentos das grandes montadoras tem se concentrado em veículos movidos a bateria.

### **2.1.2. Componentes**

Os componentes dos veículos eléctricos têm algumas diferenças em relação aos dos veículos com motor a combustão interna. A mais significativa é a inclusão de uma bateria, que responde por uma parte importante do custo de um veículo eléctrico. Estimativas apontam que a bateria representa mais de 50% do custo do veículo.

### **2.1.3. Baterias**

A bateria é um componente central em veículos eléctricos. Sua função é de armazenar energia. Embora exista em veículos de combustão interna, destinada a alimentar o motor eléctrico de arranque e outros circuitos auxiliares (ex. luzes, vidros, sistema de son, etc.), nos veículos puramente eléctricos tem para além destas funções a de alimentar o motor de tração. Estas são dispostas em módulos (mais de uma célula de bateria) ou em *packs* (mais de um módulo).

**Tabela 1:** 2.1 Análise comparativa dos principais parâmetros das diferentes tecnologias de baterias comumente usadas

	NiCd	NiMh	Li-Ion	Li-Ion Polímero	Chumbo
<b>Densidade de Energia (Wh/kg)</b>	45-80	60-120	110-160	100-130	30-50
<b>Resistência Interna (miliOhm)</b>	100-200 Pack 6V*(1)	200-300 Pack 6V *(1)	150-250 Pack 7,2V*(1)	200-300 Pack 7,2V*(1)	<100 Pack 12V*(1)
<b>Ciclo de Vida (80% da capacidade inicial)</b>	1500 *(2)	500-1000 *(2)(3)	500-1000 *(3)	300-500	200-300 *(2)
<b>Tempo para Carga Rápida</b>	1 hora	2 a 4 hs	2 a 4 hs	2 a 4 hs	8 a 16 hs
<b>Tolerância para Sobrecarga</b>	Moderada	Baixa	Muito Baixa	Baixa	Alta
<b>Auto-Descarga Mensal (na temperatura ambiente)</b>	20% *(4)	30% *(4)	10% *(5)	10% *(5)	5%
<b>Tensão da Célula</b>	1,25V *(6)	1,25V *(6)	3,6V	3,6V	2V
<b>Corrente de Carga -Pico -Melhor Resultado</b>	20C 1C	5C 0.5C	>2C 1C	>2C 1C	5C - *(7) 0.2C
<b>Temperatura de operação (somente descarga) *(8)</b>	-40 a 60°C	-20 a 60°C	-20 a 60°C	0 a 60°C	-20 a 60°C
<b>Manutenção</b>	30 a 60 dias	60 a 90 dias	Não é necessário	Não é necessário	3 a 6 meses *(9)
<b>Comparação de custo Pack 7,2V-Mz. *(10)</b>	\$3000	\$3600	\$6000	\$6000	\$1500
<b>Custo por ciclos</b>	\$2,4	\$7,2	\$8,4	\$ 17,4	\$6,0
<b>Usada comercialmente desde</b>	1995	1990	1991	1999	1970

Fonte: STA-ELECTRONICA

#### 2.1.4. Outros componentes

Além das baterias, os veículos elétricos têm outros componentes que não fazem parte dos veículos com motor a combustão interna. Da mesma forma, componentes relacionados ao motor a combustão, como o sistema

de exaustão e o tanque de combustível, não fazem parte de um veículo puramente eléctrico.

Entre os novos componentes, um motor eléctrico, um inversor de potência, uma transmissão de velocidade única e um carregador embarcado passarão a constituir parte relevante do custo de um automóvel.

Há algumas configurações possíveis para o motor eléctrico em um automóvel. Ele pode ser centralizado, assumindo um papel similar a um motor de combustão interna, ou junto a cada uma das rodas, o que reduz as perdas de transmissão.

## **2.2. SISTEMA DE TRACÇÃO ELÉCTRICA PARA VEÍCULOS ELÉCTRICOS PUROS**

Aqui é denominado sistema de tracção eléctrica o conjunto composto pelos seguintes dispositivos: motor(es) eléctrico(s) de tracção, controlador/conversor de potência e armazenadores de energia.

O motor eléctrico converte a energia eléctrica em mecânica para traccionar o veículo ou vice-versa, para realizar a frenagem ou gerar energia eléctrica com o propósito de recarregar o dispositivo armazenador de energia.

O controlador/conversor de potência é usado para alimentar o motor eléctrico com a tensão e corrente, adequadas a cada situação, ao comando do motorista.

O dispositivo armazenador de energia, como sugere, é usado para armazenar energia e supri-la ao motor através do conversor de potência, (TANAKA, 2013).

### **2.2.1. Princípios básicos de veículos automotivos**

O dimensionamento do sistema de tracção é importante para a previsão do desempenho e da autonomia em qualquer veículo automotor. Nesta secção serão apresentados os fundamentos que descrevem matematicamente o comportamento dos veículos baseados nos princípios gerais da mecânica.

Por simplicidade serão discutidos aspectos eléctricos de um sistema de tracção considerando um movimento veicular unidimensional.

Visando maximizar a eficiência energética de qualquer veículo, a massa, o coeficiente aerodinâmico e a resistência ao rolamento devem ser minimizadas enquanto ao

mesmo tempo a eficiência do motor/acionamento é maximizada. Isto é particularmente importante nos veículos eléctricos puros, para reduzir a massa requerida do banco de baterias, (TANAKA, 2013).

### 2.2.2. Movimento veicular

As características de movimento de um veículo em uma direção específica podem ser totalmente determinadas pelas forças actuantes no veículo nessa direção. A figura (2.1) mostra as forças que actuam em um veículo subindo uma rampa.

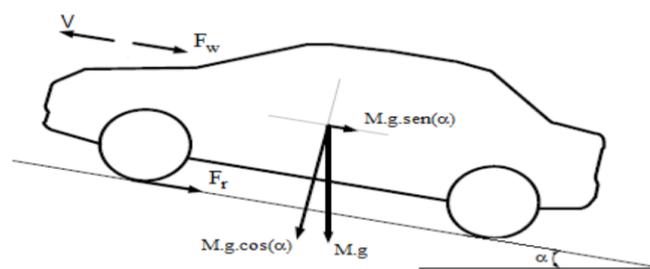


Figura 1: (2.1): Forças actuando em um veículo

Fonte: (TANAKA, 2013, p. 48)

O primeiro passo será determinar uma equação para a força de tracção que é a força que propulsiona o veículo, transmitida ao solo através das rodas motrizes.

Considerando um veículo de massa  $M$ , deslocando-se a uma velocidade  $V$ , subindo uma rampa de ângulo  $\alpha$ , como na figura (2.1). A força propulsora, que tracciona o veículo, deve:

- Superar a resistência ao rolamento;
- Superar a resistência aerodinâmica;
- Superar o aclave, ou seja, fornecer a força necessária para superar a componente do peso do veículo na direcção do movimento;
- Acelerar o veículo para atingir a velocidade desejada.

A seguir dá-se a descrição de cada uma delas

### 2.2.3. Resistência ao rolamento

Resistência ao rolamento, as vezes chamada de rolamento de fricção ou arraste de rolamento, é a resistência que ocorre quando um objecto redondo como uma bola ou pneus rolam em uma superfície plana, em linha recta e velocidade constante. É causada principalmente pela deformação do objecto, deformação da superfície, ou ambos. Esta é aproximadamente constante e proporcional ao peso do veículo e os principais factores que o afectam são o tipo e a pressão do pneu e a sua equação é vista segundo (TANAKA, 2013, p. 25) em (2.1)

$$F_r = f_r Mg \cos(\alpha), \text{ Eq. (2.1)}$$

Valores típicos de seu coeficiente podem ser vistos na tabela (A4-1) do anexo (4)

### 2.2.4. Resistência aerodinâmica

A resistência aerodinâmica pode ser quantificada por uma força, referida como arrasto aerodinâmico que resulta da imposição do ar em relação ao movimento do veículo. É condicionada principalmente pela forma do veículo e fricção superficial.

**Arrasto de forma:** O movimento do veículo empurra o ar na frente dele. No entanto, o ar não pode sair instantaneamente do caminho e sua pressão, portanto, aumenta, resultando em alta pressão de ar. Além disso, o ar atrás do veículo não pode instantaneamente preencher o espaço deixado pelo movimento para frente do veículo, isso cria uma zona de baixa pressão atmosférica. O movimento do veículo, portanto, cria duas zonas de pressão que se opõem ao movimento empurrando-o (alta pressão na frente) e puxando-o para trás (baixa pressão atrás), conforme mostrado na figura (2.2).

**Fricção superficial:** O ar próximo da superfície do veículo se move quase a velocidade deste enquanto o ar afastado do veículo permanece parado. No meio, moléculas de ar se movem em uma ampla gama de velocidades. A diferença de velocidade entre duas moléculas de ar produz uma fricção que resulta no segundo componente do arrasto aerodinâmico.

A força de arrasto aerodinâmico pode ser quantificada pela equação (2.2), estabelecida por (TANAKA, 2013, p. 25) e os seus valores típicos podem ser vistos na tabela (A4-2) do anexo (4).

$$F_W = \frac{1}{2} \rho_a A_f C_D (v - v_W)^2, \text{ Eq. (2.2)}$$

### 2.2.5. Resistência ao ativo

Quando um veículo sobe ou desce um aclave, seu peso produz uma componente que é sempre dirigida para a descida, conforme mostra a figura (2.1). Essa componente opõe-se ao movimento para cima ou ajuda para baixo. E é quantificada por (TANAKA, 2013, p. 25) pela equação (2.3).

$$F_g = Mg \sin(\alpha), \text{ Eq. (2.3)}$$

Temos também: Força de aceleração linear, força de aceleração angular, aceleração, o torque.

Fazendo o somatório das forças mencionadas acima, passando por algumas deduções chega-se a equação do cálculo da potência necessária para a tracção nas rodas do veículo (2.4), estabelecida por (TANAKA, 2013, p. 26).

$$P_t = \left[ f_r Mg \cos(\alpha) + \frac{1}{2} \rho_a A_f C_D (v - v_W)^2 + Mg \sin(\alpha) + \frac{M dv(t)}{dt} + \frac{(J_g^2 + J_w) dv(t)}{r_d^2 dt} \right] V(t), \text{ (2.4)}$$

A tracção eléctrica é uma forma de utilização de energia que aproveita a capacidade de transformação de energia eléctrica em energia mecânica para promover o deslocamento de um ou de mais veículos, (PEREIRA, 2013).

## 2.3. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

Na ligação de baterias, o conjunto de unidades em série, por convenção representa-se com nS, e o conjunto de unidades em paralelo por nP, sendo n o número de unidades.

Para estimar a capacidade e o número de baterias necessárias, bem como a forma de serem ligadas, começa-se por calcular a energia necessária ( $E_{necess}$  em Wh) que o carro necessita para percorrer o número de quilómetros  $N_{km}$  que se pretende para a autonomia do carro e (TANAKA, 2013), (2.5).

$$E_{necess} = 10 \times \text{Cons}_{méd} \times N_{km}, \text{ Eq. (2.5).}$$

Onde  $\text{Cons}_{méd}$  é uma média do consumo para o tipo de viagens a que o carro se destina. Como o consumo vem em kWh/100km = 1000Wh/100km = 10Wh/km), daí o factor 10 presente na equação.

A capacidade necessária  $C_{necess}$  (em Ah) é afectada pela profundidade de descarga máxima e a percentagem de auto descarga da bateria, podendo a equação tomar a seguinte forma (TANAKA, 2013), (2.6).

$$C_{necess} = \frac{E_{necess}}{V_{bat} \times \frac{\text{DoD}_{max}}{100} \times \left( \frac{100 - \text{AD}_{sem}}{100} \right)}, \text{ Eq. (2.6)}$$

Onde:  $V_{bat}$  = é a tensão nominal do *pack* de baterias (V),  $\text{DoD}_{max}$  é a profundidade máxima de descarga e  $\text{AD}_{sem}$  é a percentagem de auto descarga semanal (para baterias de chumbo-ácido  $\text{DoD} = 80\%$  e  $\text{AD}_{sem} = 1\%$ , são valores aceitáveis). Deve verificar-se que a  $C_{necess}$  seja maior que a corrente que o motor necessita durante uma hora, caso contrário deve ser tomado esse valor para a  $C_{necess}$ .

O número de baterias em série  $nS$  é obtido dividindo a tensão do *pack* de baterias pela tensão de uma bateria (TANAKA, 2013), (2.7).

$$nS = \frac{V_{bat}}{V_{unid}}, \text{ Eq. (2.7)}$$

O número de grupos de baterias em paralelo é calculado dividindo a capacidade necessária pela capacidade nominal de uma bateria (TANAKA, 2013), (2.8):

$$nP = \frac{C_{necess}}{C_{nom}}, \text{ Eq. (2.8)}$$

“Este número tem de ser arredondado para o número inteiro mais próximo. Se for arredondado para o superior, então a autonomia será maior e o rendimento da descarga da bateria será melhor, mas aumentará custo e o peso do carro, por outro

lado, se for arredondado para um número inferior o efeito será o contrário”, (TANAKA, 2013)

Para calcular a autonomia é necessário saber a quantidade de energia armazenada no *pack* de baterias, que pode ser calculada através da equação (2.9), (TANAKA, 2013).

$$E_{bat} = V_{bat} \times C_{bat} \times \frac{DoD_{max}}{100}, \text{ Eq. (2.9)}$$

“Na equação (2.9) a energia  $E_{bat}(Wh)$ , a tensão  $V_{bat}(V)$  e a capacidade  $C_{bat}(Ah)$ , são referentes ao *pack* de baterias. O factor  $DoD_{max}$  é expresso em percentagem. Quanto maior for a percentagem de descarga  $DoD$ , menor será o tempo de vida das baterias (principalmente em baterias de chumbo-ácido), pelo que deve existir um compromisso entre o armazenamento de energia e o custo da substituição das baterias”. (TANAKA, 2013)

A autonomia é então calculada através da energia do *pack* de baterias  $E_{bat}$  a dividir pelo consumo. Como o consumo vem em kWh/100km e a energia da bateria foi calculada em Wh então é feita a correcção de unidades multiplicando por 0.1, desta forma, conforme estabelecido por (TANAKA, 2013) em (2.10):

$$Auton = \frac{0,1 \times E_{bat}}{Cons}, \text{ Eq. (2.10)}$$

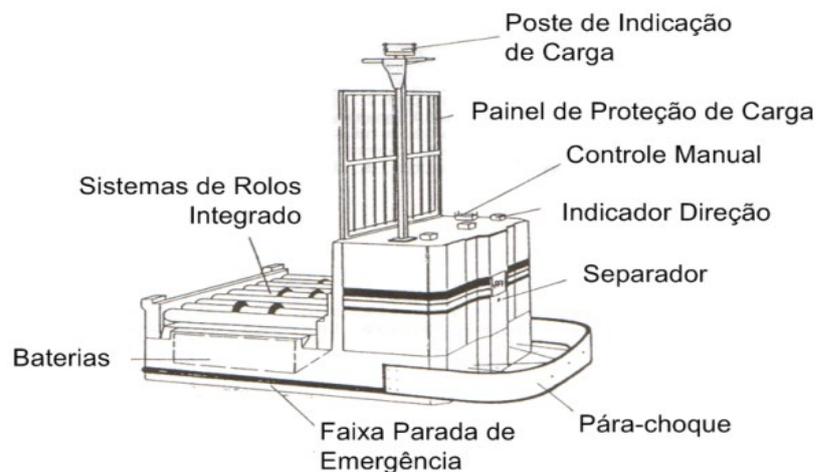
O factor 0,1 presente no numerador, vem da conversão do consumo, através da igualdade  $1/(kWh/100km) = 1/(1000Wh/100km) = 0,1(km/Wh)$ . Os rendimentos da bateria, controlador, motor e transmissão já foram contabilizados na equação.

## 2.4. VEÍCULOS GUIADOS AUTOMATICAMENTE

O AGV se define como um veículo de transporte conduzido por um sistema computadorizado que admite diferentes configurações mecânicas, mas o acrónimo AGV tem dois significados quase similares e utilizados frequentemente. Primeiramente o veículo guiado automaticamente é relacionado com veículos guiados por computador. Nenhum ser humano ou animal têm o controlo directo ou (um tanto) indirecto sobre o veículo. O segundo é veículo guiado autónomo, nesse sentido um AGV é um veículo com o uso da “inteligência” local que determina seu próprio

comportamento. Sendo que, o veículo é controlado por computador, mas o comportamento do veículo é determinado por um computador independente. Esse computador não necessita estar integrado ou embarcado no próprio AGV (BRÄUNL, 2006 citado por PÉREZ, 2010).

Geralmente, os AGVs são veículos industriais de diversos tamanhos, de tracção eléctrica, sem motorista e com diferentes tipos de dispositivos para manipulação de materiais ou cargas (Figura 2.3). São reconhecidos como o sistema mais flexível na manipulação de materiais, já que são aptos para tarefas que vão desde distribuir o correio, até transportar grandes quantidades de carga. Esses veículos podem ser considerados como uma classe de robôs móveis com rodas, que surgiram como uma forma de solucionar as necessidades de flexibilidade do sistema de transporte, para se adaptar rapidamente a câmbios na demanda. Suas múltiplas aplicações incluem as indústrias aeroespacial, automotiva, electrónica, hospitalar, indústrias de papel e indústrias de metais. Os primeiros veículos foram desenvolvidos em 1954 por *Barrett Electronic Corporation*, que utilizavam um cabo elevado para dirigir um veículo com reboque em uma loja de comestíveis (MORAVEC, 2003 citado por PÉREZ, 2010).



**Figura 2: 2.3: Componentes de um AGV.**

Fonte: (PÉRES, 2010, p. 28)

“De igual forma, os desenvolvimentos tecnológicos podem ter dado aos AGVs maior flexibilidade e potencialidade. Pesquisas e objectivos típicos no projecto de sistemas AGVs incluem avaliação da viabilidade, avaliação das regras de liberação, eliminação dos problemas de tráfego, maximização do nível de produção (*throughput*), maximização na utilização dos veículos, minimização do nível de

inventário, minimização dos custos de transporte e maximização do espaço utilizado, entre outras”, (PÉREZ, 2010).

### 2.4.1. Técnicas de Orientação em AGVs

As técnicas de orientação de AGVs incluem caminhos orientados com fios e caminhos orientados sem fios (Figura 2.4). Na técnica de orientados com fios, são enterrados fios no chão com sinais a diferentes frequências e os AGVs seleccionam um caminho, atribuído por um ponto de controlo de acordo com a frequência designada, (PÉREZ, 2010).

Existem algumas vantagens desse tipo de tecnologia e uma delas é que pode trabalhar em ambientes sujos e com bastante fluxo de veículos. A desvantagem está no seu baixo grau de flexibilidade, já que os circuitos de trajectórias não são facilmente alteráveis e é elevado o custo de manutenção e reparo dos cabos. Essa desvantagem causou o desenvolvimento de técnicas de comando sem fio (SEZEN, 2003 citado por PÉREZ, 2010).

Quando existem situações nas que são desejáveis que os veículos não estejam restritos a uma trajectória fixa, como no caso em que as trajectórias precisam ser modificadas frequentemente ou os pontos de carga e descarga mudem de sitio em um período curto, os sistemas sem fios são preferíveis. Uma parte importante dessa tecnologia é a obtenção das informações dos sensores e a correcção de erros de posicionamento, que são transmitidos de forma contínua e instantânea através de um computador embarcado no veículo.

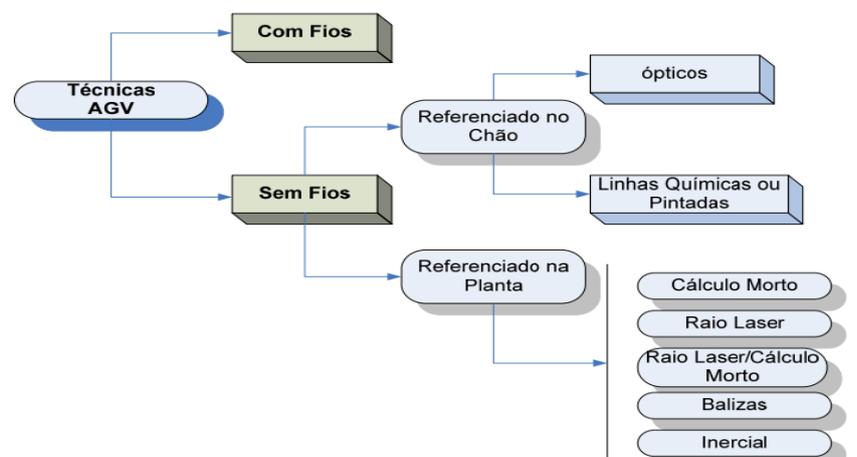


Figura 3: 2.4: Classificação das técnicas de orientado em AGVs.

Fonte: (PÉRES, 2010, p. 32)

### 2.4.2. Os principais tipos de AGVs são

- AGVs de Reboques (Towing ou Tugger AGVs);
- AGVs de Unidades de Carga (Unit Load AGVs);
- AGVs de Empilhadeira (Fork Truck AGVs);
- AGVs de Carga Leve (Light Load AGVs);
- AGVs para Linha de Montagem (AGVs Assembly Line Vehicles).

Os AGVs são utilizados de modos diferentes e podem ser classificados para a movimentação de materiais em cinco tipos, como se pode observar na Figura 2.5 (HAMMOND, 1986, CASTLEBERRY, 1991 citados por PÉREZ, 2010).

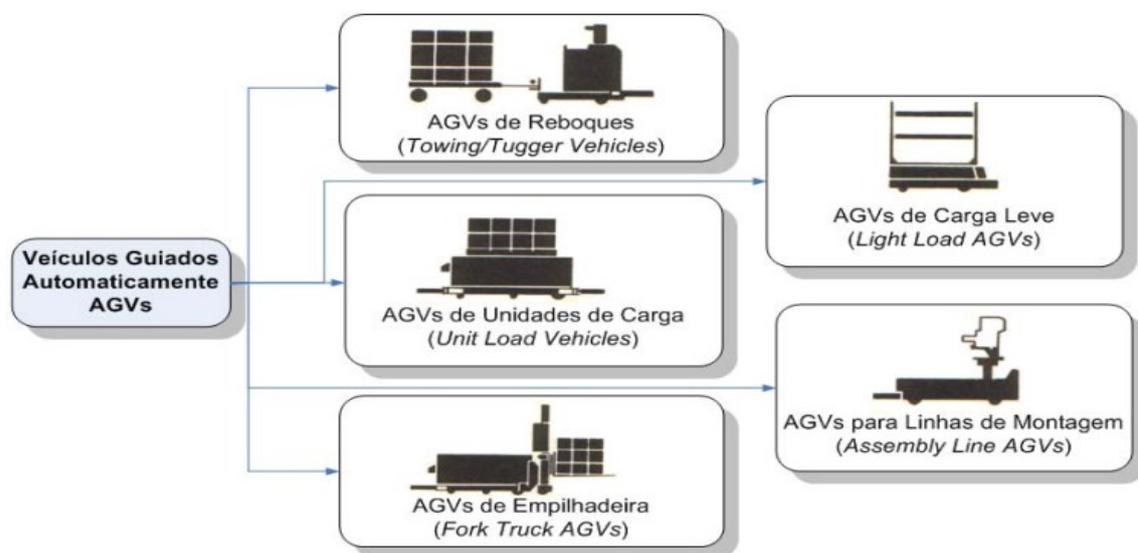


Figura 4: 2.5: Tipos de AGVs (KOFF et al., 1985, MILLER, 1987).

Fonte: (PÉRES, 2010, p. 35).

## 2.5. DIMENSIONAMENTO DO INVÓLUCRO

O involucro será constituído de chapas de ligas de alumínio com aço, com uma base de ferro fundido e eixos de aço, com rodas maciças, sendo que as fontais serão directamente acopladas aos respectivos motores interfaceados por redutores de velocidade.

### 2.5.1. Propriedades dos materiais metálicos ferrosos

Aço e o ferro fundido são ligas de ferro e carbono, com outros elementos de dois tipos: elementos residuais decorrentes do processo de fabricação (Silício,

Manganês, Fósforo e Enxofre), e elementos adicionados com o intuito de melhorar as características físicas e mecânicas do material denominados elementos de liga.

Aço: liga ferro carbono em que o teor de carbono varia desde 0,008% até 2,11% (Chiaverini,1996).

O carbono aumenta a resistência do aço, porém o torna mais frágil. Os aços com baixo teor de carbono têm menor resistência à tracção, porém são mais dúcteis. As resistências à roptura por tracção ou compressão dos aços utilizados em estruturas são iguais, variando entre 300 Mpa até 1200 Mpa.

As características físicas e mecânicas do aço, do alumínio, dos ferros fundido (*cast iron*) e forjado (*wrought iron*) podem ser vistas na tabela (A5-2) do anexo (5).

O dimensionamento do motor passa pelo conhecimento das características físicas do invólucro e essas podem ser facilmente obtidas pelo procedimento abaixo:

- a) Cálculo da área e determinação da espessura da chapa (A)
- b) Cálculo do volume da chapa:  $V = \Delta\delta \times A$
- c) Determinação da massa da chapa:  $m = \rho \times V$

## **2.6. Dispositivo de controlo**

### **2.6.1. Sensor ultrassônico HC-SR04**

O sensor é activado através do envio de um pulso *HIGH* de 10 $\mu$ s ao pino TRIG, provocando o envio de um pulso ultrassônico (à 40kHz) que deverá refletir em uma superfície. O eco do pulso é recebido pelo sensor que mede o intervalo de tempo entre o envio e o recebimento. Um pulso *HIGH* com duração proporcional à distância é enviado ao pino *ECHO*.

## **2.7. MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA**

Os motores de corrente contínua são motores de excitação dupla, isto é, motores alimentados no circuito do induzido e no circuito indutor, promovendo uma interacção entre os campos magnéticos criados pelas correntes que circulam nestes, resultando no binário electromagnético que os coloca em marcha.

### 2.7.1. Características mecânicas dos motores eléctricos

Chama-se característica mecânica de um motor a curva de sua velocidade em função do binário, isto é,  $\omega = f(M)$ . As características mecânicas dos vários motores têm diferentes rigidezes.

**Característica mecânica rígida** – há uma fraca dependência entre a velocidade e o binário. Possuem esta característica os motores assíncronos (na sua parte de serviço) e os de corrente contínua de excitação em paralelo.

**Características mecânicas suaves** – possuem-na os motores série de corrente contínua, o aumento do binário aqui implica uma queda considerável da velocidade do motor.

### 2.7.2. Características mecânicas de um motor de corrente contínua de excitação separada

Os motores de corrente contínua de excitação separada aplicam-se na indústria, caso seja necessário um controle da velocidade, com uma faixa larga, ou quando o accionamento estiver sujeito a arranques e paragens frequentes.

#### Características no regime motor

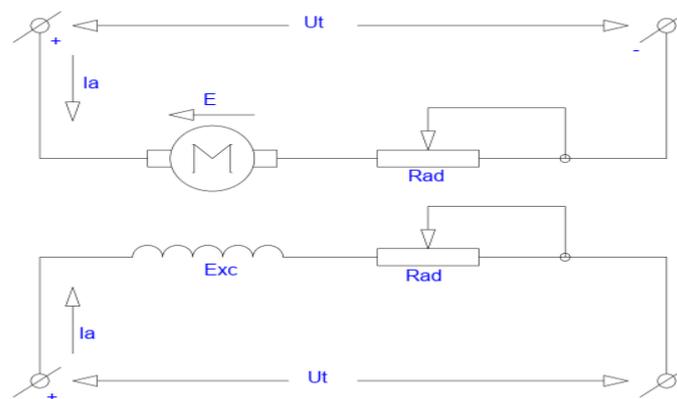


Figura 6: 2.6: Circuito equivalente do balanço de tensões para o motor de corrente contínua

Fonte: O autor

Os sentidos da corrente do induzido  $I_{ind}$  e da força contra-electromotriz do induzido  $E_{ind}$  relativas ao regime motor, são apresentados na figura 2.9. A tensão  $U$  aplicada

ao induzido é equilibrada pela força contra-electromotriz  $E_{ind}$ , induzida na armadura, e pela tensão  $IR$  na resistência do circuito do induzido. Assim (KHOUSSAINOV, 1987) estabelece em (2.11) a equação de equilíbrio de tensões:

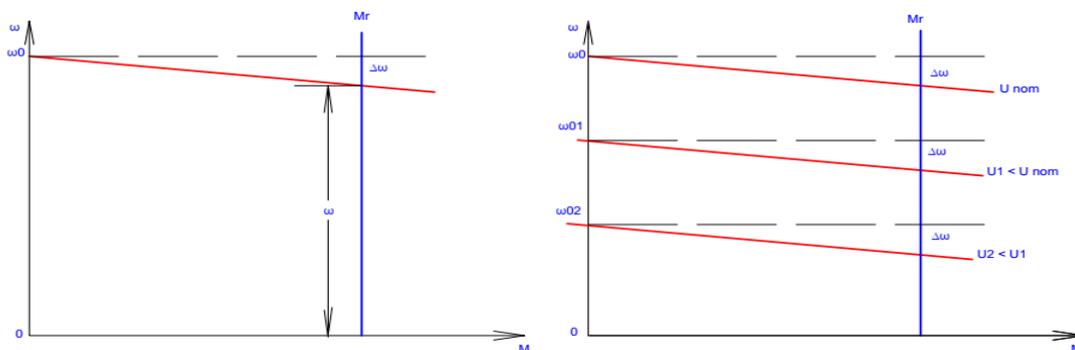
$$U = E + IR, \text{ Eq. (2.11)}$$

Em que  $R$  é a resistência total, igual a soma da própria resistência do induzido  $R_a$  e da resistência adicional  $R_{ad}$  (de arranque ou de controle).

Ao efectuar as devidas deduções obtém-se a equação da característica mecânica (2.12), (KHOUSSAINOV, 1987):

$$\omega = \frac{U}{k_e} - \frac{R}{k_e \times k_M \times \phi^2} \times M, \text{ Eq. (2.12)}$$

A característica mecânica chama-se natural, se a tensão e o fluxo forem nominais e não houver nenhuma resistência adicional no circuito do induzido, caso contrário chama-se característica mecânica artificial (figura 2.7). Estas características serão aproveitadas para realizar o controle de velocidade no próximo capítulo.



**Figura 7: (2.7): Características mecânicas dos motores de corrente contínua de excitação separada (e paralela).**

Fonte: Adaptação do autor.

As características mecânicas artificiais são obtidas por diminuição de  $U$  ou  $\Phi$  relativamente aos valores nominais ou por introdução de uma resistência adicional  $R_{ad}$  no circuito do induzido. A seguir faz-se referência a regulação de velocidade pela

diminuição da tensão que é o método de controlo de velocidade a ser usado no desenvolvimento do projecto.  $U_2 < U_1$

Ao diminuir a tensão  $U$  aplicada ao induzido, é diminuída proporcionalmente a velocidade em vazio, sendo constante o desvio de velocidade  $\Delta\omega$ . A característica desloca-se para baixo permanecendo paralela a natural (figura 2.7).

### **2.8.3. ESCOLHA DE MOTORES**

O motor escolhido para accionar um mecanismo de produção deve assegurar o funcionamento normal desse mecanismo, isto é, satisfazer uma série de exigências relativas a tensão nominal, binário, capacidade de sobrecarga, controle de velocidade, segurança de serviço, etc. Por outro lado, o custo do motor deve ser mínimo. Por isso, é recomendável fazer a escolha de um motor em duas etapas, isto é, escolher o tipo de motor e determinar depois a sua potência.

### **2.8.4. Escolha do tipo de motor**

O motor mais simples e, por isso, o mais barato e mais seguro, é com certeza o motor assíncrono de rotor em gaiola. Se aceitarmos o seu custo igual à unidade, os custos dos outros motores com a mesma potência serão aproximadamente:

- Motor assíncrono de rotor bobinado – 1,8 a 2;
- Motor síncrono (incluindo o custo da fonte da corrente de excitação) – 2 a 2,5;
- Motor de corrente contínua – 3 a 4.

No entanto, o motor assíncrono de rotor em gaiola é muito incómodo no que se refere ao controlo da velocidade quando se requer uma ampla faixa, excepto ao controlo por degraus através da comutação dos pólos. Este motor é ainda muito sensível ao abaixamento da tensão da rede e aquece muito nos processos transitórios, pela impossibilidade de introdução de resistências adicionais no circuito rotórico.

Os motores de corrente contínua são os mais caros, mas possuem boas possibilidades quanto ao controlo da velocidade. Por isso, o domínio de aplicação dos motores de corrente contínua é limitado aos accionamentos com controlo contínuo da velocidade em ampla faixa, com elevadas exigências relativas a qualidade dos processos transitórios.

Ao escolher o tipo de motor é preciso escolher a tensão nominal do motor igual a tensão da rede, escolher a classe de protecção adequada às condições do meio ambiente e escolher a sua forma construtiva.

A determinação correcta da potência nominal do motor é muito importante. Se a potência nominal escolhida for menor do que a necessária, o motor sofrerá um excessivo aquecimento e ficará logo fora de serviço. Uma potência nominal maior do que a necessária implica a elevação do custo do accionamento.

### **2.8.5. Controlo de tensão nos motores de corrente contínua de excitação independente**

O controlo de velocidade e torque em motores CC com excitação independente pode ser dividido basicamente em:

- Controlo pela tensão aplicada na armadura ( $V$ );
- Controlo pela tensão aplicada no campo ( $\Phi$ );
- Controlo por adição de resistência na armadura ( $R_a$ ).

#### **2.8.5.1. Controlo pela tensão aplicada na armadura ( $V$ ):**

“No controlo pela tensão na armadura mantem-se a tensão e a corrente no campo constantes, desta forma o fluxo magnético produzido no campo também é constante. Varia-se a tensão aplicada na armadura ( $V$ ) e por consequência a rotação da máquina. Neste método o torque permanece constante e a potência varia proporcionalmente com a velocidade”, (FUENTES, 2005).

#### **2.8.5.2. Métodos práticos para o controlo de velocidade pela tensão da armadura**

- Resistores chaveados em série com a armadura;
- Variador de tensão (Variac);
- Pontes rectificadoras controladas;
- Conversor cc/cc (Chopper).

O primeiro método tem a grande desvantagem de dissipar energia em forma de calor, os dois seguintes baseiam-se na conversão de uma fonte de entrada alternada em

uma saída contínua, porém a nossa fonte é de corrente contínua, resta-nos apenas comentar a respeito do último.

## 2.9. CHOPPER

O chopper é um conversor que converte um sinal de corrente contínua com um certo valor de tensão em um outro de corrente contínua com outro valor de tensão, o que em corrente alternada consegue-se com o uso de transformadores. Os choppers classificam-se em classes, em função dos quadrantes em que operam: classe A (operação no I quadrante), classe B (operação no II quadrante), classe C (operação nos I e II quadrantes) classe D (operação nos I e IV quadrantes), classe E (operação nos 4 quadrantes). Nos concentraremos no chopper de classe E que é uma generalização dos primeiros 4 e que melhor se adequa a aplicação em causa.

### CONVERSOR CLASSE E

O conversor tipo E permite a operação da máquina nos quatro quadrantes: acelera-avante, freia-reversivelmente, acelera-reversivelmente e freia-avante. A figura (2.8) mostra uma ponte H utilizada para este fim.

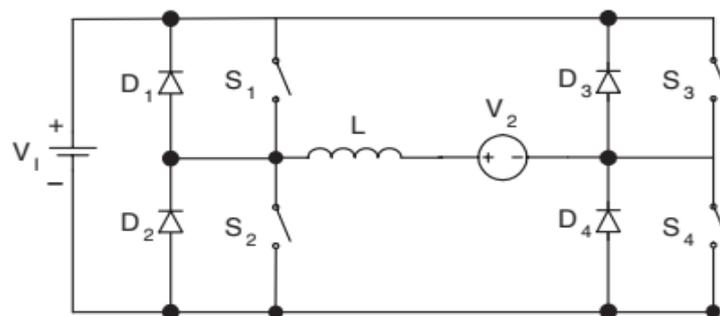


Figura 8: 2.8: Chopper de 4 quadrantes ou ponte H

Fonte: (LUO e YE, 1973)

A tensão de entrada do chopper de 4 quadrantes é positiva, a sua tensão de saída pode ser tanto positiva quanto negativa. Sua operação nos diferentes quadrantes pode ser resumida pela tabela (2.2), que mostra o estado das chaves de comutação e dos díodos. A sua relação de tensões pode ser vista na equação (2.13), (LUO e YE, 1973)

$$V_2 = \begin{cases} DV_1 & \rightarrow \text{Operação no IQ} \\ (1-k)V_1 & \rightarrow \text{Operação no IIQ} \\ -kV_1 & \rightarrow \text{Operação no IIIQ} \\ -(1-k)V_1 & \rightarrow \text{Operação no IVQ} \end{cases}, \text{ Eq. (2.13);}$$

**Tabela 2:** (2.2): O estado das chaves e dos díodos para operação de em quatro quadrantes

Chave ou Díodo	I Quadrante	II Quadrante	III Quadrante	IV Quadrante
S <sub>1</sub>	Funciona	Bloqueado	Bloqueado	Funciona
D <sub>1</sub>	Bloqueado	Funciona	Funciona	Bloqueado
S <sub>2</sub>	Bloqueado	Funciona	Funciona	Bloqueado
D <sub>2</sub>	Funciona	Bloqueado	Bloqueado	Funciona
S <sub>3</sub>	Bloqueado	Bloqueado	Conduz	Bloqueado
D <sub>3</sub>	Bloqueado	Bloqueado	Bloqueado	Conduz
S <sub>4</sub>	Conduz	Bloqueado	Bloqueado	Bloqueado
D <sub>4</sub>	Bloqueado	Conduz	Bloqueado	Bloqueado
Output	V <sub>2</sub> +, I <sub>2</sub> +	V <sub>2</sub> +, I <sub>2</sub> -	V <sub>2</sub> -, I <sub>2</sub> -	V <sub>2</sub> -, I <sub>2</sub> +

Fonte: (LUO e YE, 1973)

## 2.10. TÉCNICA DE MODULAÇÃO

- O ciclo de trabalho ou razão cíclica, K varia entre 0 e 1 variando-se t<sub>1</sub> (tempo no estado High). consequentemente a tensão de saída V<sub>o</sub> pode variar de 0 a V<sub>máx</sub>.
- O controle de K é obtido por técnicas de modulação (que nos permitem controlar o chaveamento dos transístores)

## 2.11. MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO (PWM)

O período de chaveamento T(f) permanece constante e a largura do pulso t<sub>1</sub> (intervalo em que a chave permanece conduzindo) varia para se obter o valor de K desejado, ou seja, tem-se t<sub>1</sub> como variável de controle.

### **2.11.1. Princípio de funcionamento do PWM**

A modulação por largura de pulso é uma técnica que consiste em produzir na sua saída um sinal digital (aquele que só pode assumir dois valores distintos num intervalo de tempo, ex: 0 ou 1, high ou low, etc.), variando o tempo do sinal em nível lógico alto durante o seu período de comutação varia o seu ciclo de trabalho (razão entre o tempo em nível lógico alto e o período de comutação) e essa saída pode ser usada para controlar uma chave, que no caso é um transistor.

## **2.12. CONTROLO E ORIENTAÇÃO DO VEÍCULO**

### **2.12.1. MICROCONTROLADOR ARDUINO**

O arduino é uma placa para prototipagem de projectos electrónicos. Uma plataforma electrónica que consiste em um circuito contendo um microcontrolador (da família AVR) configurado para facilitar a programação e controlo de entradas e saídas.

*Open hardware* – o circuito pode ser montado e vendido sem precisar pagar *royalties*.

### **2.12.2. PROGRAMAÇÃO DO ARDUINO**

- A programação do Arduino é feita em uma linguagem de alto-nível (é uma versão simplificada da linguagem C);
- A linguagem define abstrações (estruturas, variáveis e funções) que representam pinos e funcionalidades do Arduino;
- A função dos pinos do Arduino (se irão funcionar como entradas ou saídas) é definida através de programação;
- Antes de ser transferido para a memória do Arduino, o programa precisa ser compilado (traduzido para a linguagem de máquina do Arduino);
- A transferência é feita através da saída USB do computador, que também fornece energia para a placa. Algumas placas possuem entrada USB, outras requerem um adaptador.

## Uso do arduino

- Depois que um programa é transferido para a memória do Arduino, ele executará automaticamente sempre que for conectado a uma fonte de energia eléctrica
- Um programa geralmente é construído para executar continuamente, lendo os sinais recebidos de sensores e controlando dispositivos
- O botão *RESET* reinicia o Arduino (o programa é interrompido e reiniciado novamente)

### 2.12.5. Placas do arduino

Encontram-se actualmente no mercado vários modelos de placas arduino (arduino Mega, DigiSpark, arduino Leonardo, arduino Nano, arduino Pro Mini, AdaFruit Flora, LilyPad arduino, DigiSpark LilyTini, AdaFruit Gemma e o arduino UNO). A seguir dá-se ênfase ao arduino UNO que é o mais comum em aplicações com baixo nível de complexidade, em aplicações mais complexas e com grande número de variáveis intervenientes aconselha-se o uso da placa Mega. Apresenta-se a imagem do arduino UNO, na figura (2.9) e a pinagem do UNO na figura 2.10.

# Pinagem ARDUINO UNO

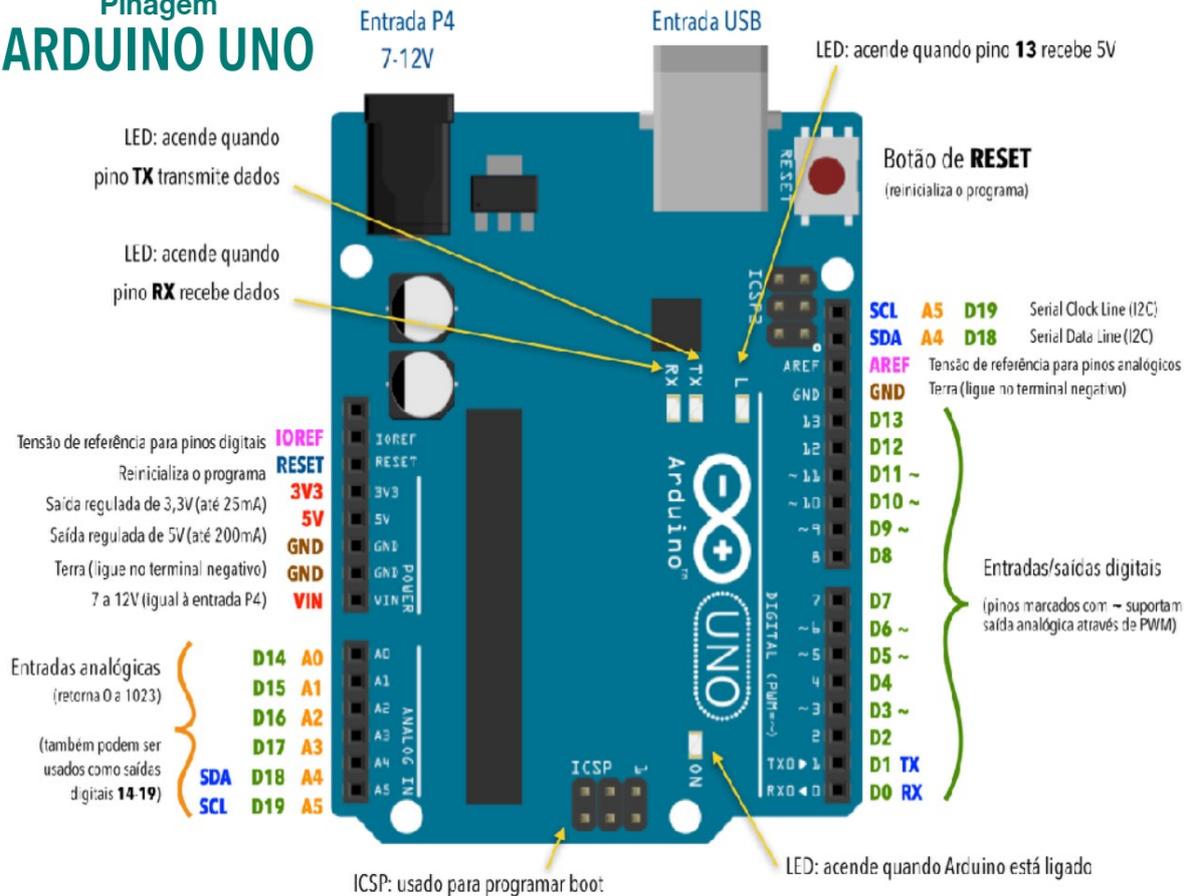


Figura 9: (2.9): Pinagem da placa UNO

Fonte: (ROCHA, H, 2017, p. 26).

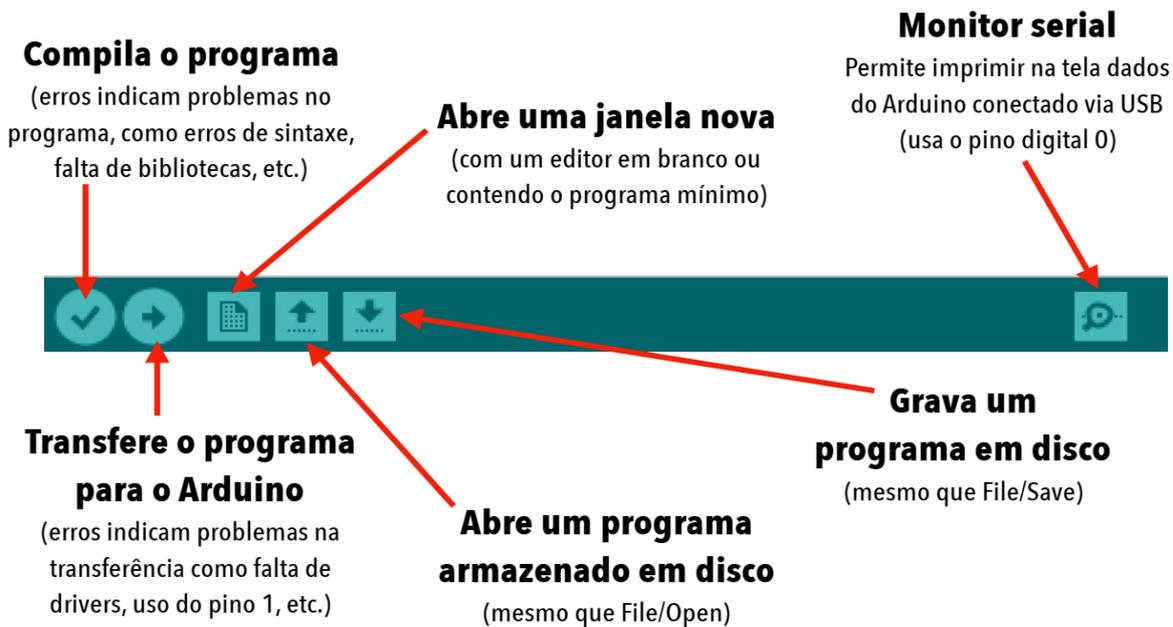


Figura 10: (2.10): IDE: barra de menu

Fonte: (ROCHA, H, 2017, p. 22).

## CAPITULO III - MEMORIAL DESCRITIVO E JUSTIFICATIVO

### 3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O veículo a ser projectado é um veículo guiado automaticamente, isto é, sem intervenção humana (piloto), comandado por um microcontrolador embarcado nele, que o controla mediante uma programação pré-determinada usando linguagem de alto nível em um microcontrolador Arduino. O veículo transporta cargas industriais, no caso específico leva blocos de concreto da secção de produção à área de secagem. O veículo terá um invólucro mecânico feito de chapa de ligas de alumínio, com uma base feita a ferro fundido, será traccionado por dois motores eléctricos de corrente contínua independentes, isto é, um por roda (apenas nas rodas frontais).

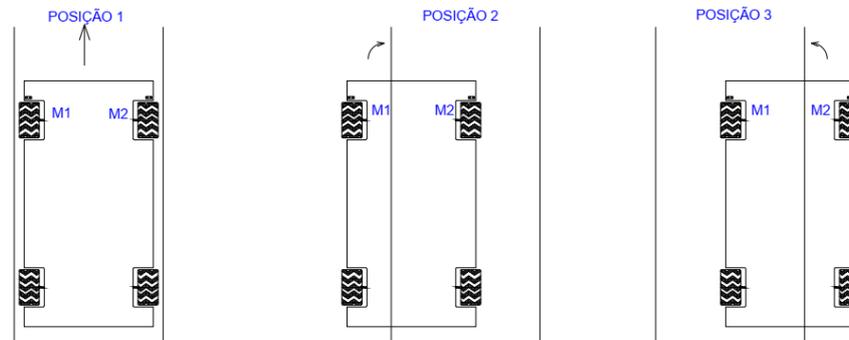
O controlo de desvios, acelerações e constância da velocidade será comandado por um microcontrolador de uma placa Arduino, do seguinte modo:

- Quando houver necessidade de descrever uma curvatura à esquerda, isto é, o veículo está à direita da linha faixa de orientação à qual deve seguir, a roda do lado esquerdo move-se a uma velocidade menor que a roda do lado direita (isto implica que a roda e conseqüentemente o sensor direito estarão fora da faixa de orientação e irá nesse instante registar uma refletância menor que a do sensor do lado esquerdo), conforme mostra a posição 3 da figura (3.1);
- De forma análoga procede-se para uma curvatura a direita, isto é, o veículo está à esquerda da faixa de orientação, a roda do lado direito move-se a uma velocidade menor em relação a roda do lado esquerdo e assim descreve-se a curva (isto implica que a roda e conseqüentemente o sensor do lado esquerdo estarão fora da faixa de orientação e irá, o sensor, nesse instante registar uma refletância menor que a do sensor do lado direito), conforme a figura (3.1);
- Quando este encontra-se centralizado na faixa de orientação (isto é, os dois sensores apresentam refletâncias iguais) as duas rodas movem-se a mesma velocidade.

Este controlo de velocidade é conseguido variando a tensão fornecida ao induzido através da modulação por largura de pulso, aproveitando-se do facto de a velocidade ter uma relação positiva com a tensão.

Todos os componentes do veículo são alimentados por um grupo de baterias que se encontra na parte traseira deste (a parte que suporta a carga).

Para além do grupo de baterias temos um microcontrolador, os componentes das chaves de partida dos motores (manobras, protecções contra curto-circuito e contra sobrecargas e o conjunto de dispositivos de conversão de potência), os motores propriamente ditos junto de seus sistemas de transmissão e estes acoplados as suas rodas frontais.

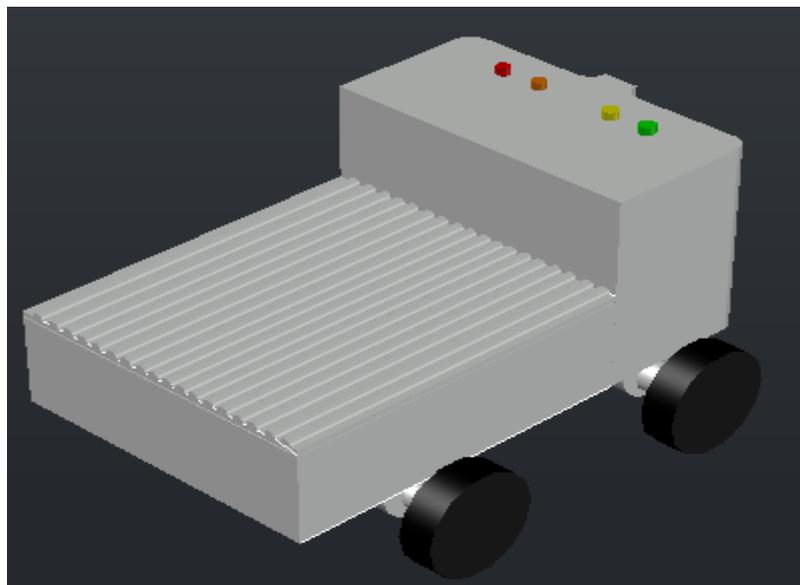


**Figura 11: (3.1): Veículo no trilho de orientação**

Fonte: Adaptação do Autor

### 3.1. CARACTERÍSTICAS DO INVÓLUCRO

O invólucro do veículo é visto na figura (3.1), construído em chapa de ligas de alumínio, com uma base feita em ferro fundido e eixos feitos em aço.



**Figura 12: (3.2): Protótipo do veículo projectado**

Fonte: Adaptação do Autor

### 3.2. Dimensionamento do invólucro

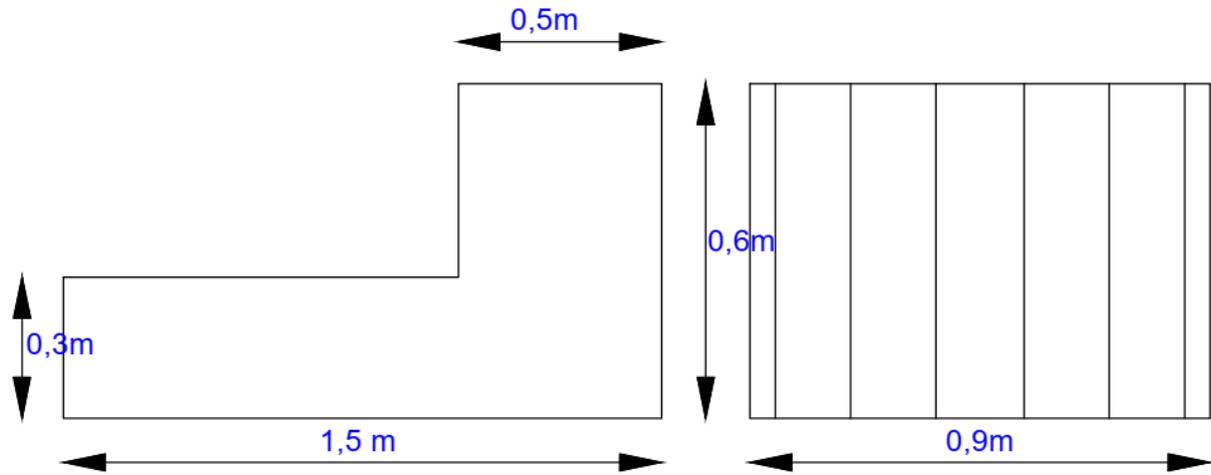


Figura 13: (3.3): a) Vista de lateral do veículo; b) Vista de frontal do veículo

Fonte: O autor

$$\text{Area: } A_l = 1.00 \times 0.30m + 0.50 \times 0.60m = (0.30 + 0.30)m^2 = 0.60m^2$$

$$\text{Área total das laterais: } A_l = 2 \times A_l = 2 \times 0.60m^2 = 1.20m^2; \text{ Espessura}(\Delta\delta) = 0.003m$$

$$\text{Massa: } V_l = \Delta\delta \times A_l = 0.003m \times 1.20m^2 = 0.0036m^3 \quad \rightarrow$$

$$m_l = \rho_{Al} \times V_l = 2710kg / m^3 \times 0.0036m^3 = 9.756kg$$

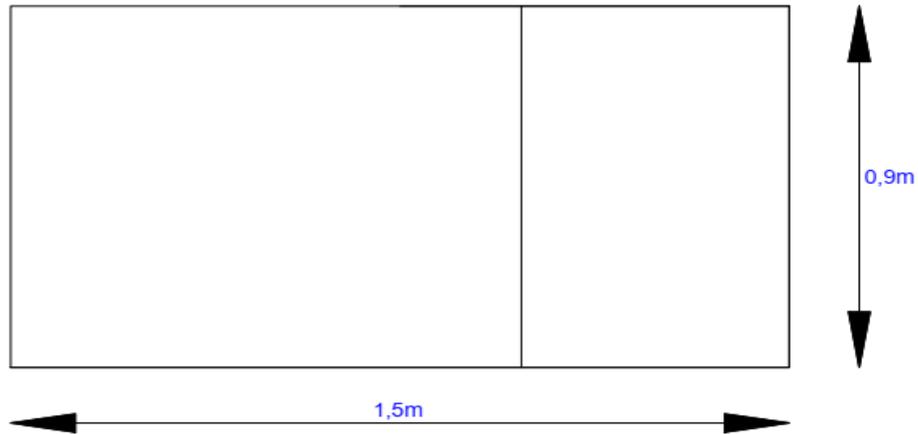
$$\text{Area: AS DF } A_f = 0.90 \times 0.60m = 0.54m^2; \text{ Espessura}(\Delta\delta) = 3mm$$

A vista traseira terá as mesmas dimensões que a frontal, bastando multiplicar a área obtida por dois para obter a área total das vistas frontal e traseira:

$$A_{f,t} = 2 \times A_f = 2 \times 0.54m^2 = 1.08m^2$$

$$\text{Massa: } V_{f,t} = \Delta\delta \times A_{f,t} = 0.003m \times 1.08m^2 = 0.00324m^3 \quad \rightarrow$$

$$m_f = \rho \times V_f = 2710kg / m^3 \times 0.00324m^3 = 8.7804kg$$



**Figura 14: (3.4): Vista de cima do veículo**

Fonte: O autor

Area:  $A_c = 1.50 \times 0.90m = 1.35m^2$

Massa:  $V_c = \Delta\delta \times A_c = 0.003m \times 1.35m^2 = 0.00405m^3 \rightarrow$

$m_c = \rho \times V_c = 2710kg / m^3 \times 0.00405m^3 = 10,9755kg$

A vista de baixo possui a mesmas dimensões que a de cima, sendo assim as suas áreas serão as mesmas, porém as espessuras serão diferentes, para a chapa inferior adoptou-se uma espessura de 5mm, feita em ferro fundido.

Área total das laterais:  $A_b = 1.35m^2$ ; Espessura( $\Delta\delta$ ) = 5mm

Massa:  $V_b = \Delta\delta \times A_b = 0.005m \times 1.35m^2 = 0.00675m^3 \rightarrow$

$m_b = \rho \times V_b = 6680kg / m^3 \times 0.00675m^3 = 45.09kg$



**Figura 15: (3.5): a) Eixo das rodas; b) Formato das rodas do veículo**

Fonte: Adaptação do autor

O eixo das rodas traseiras possui um diâmetro de 50mm, com um comprimento de 0.9m, sendo o seu volume igual à:  $V_{\text{eixo,t}} = \pi r^2 \times l = \pi(0.015m)^2 \times 0.9m = 0.000636m^3 \rightarrow$

$$m_{\text{veio}} = \rho_{Ac} \times V_{\text{veio}} = 7860kg/m^3 \times 0.000636m^3 = 5kg$$

As rodas do veículo possuirão um peso de 5kg por roda, sendo assim, o peso das rodas fica igual à: 20kg

A massa das baterias é de aproximadamente: 55kg

O peso dos motores é aproximadamente igual a 20kg.

A massa total do veículo incluindo a sua carga máxima será:

$$\begin{aligned} m_{\text{total}} &= \sum m_{\text{parciais}} + m_{\text{carga max}} \\ &= m_l + m_f + m_c + m_b + m_{\text{veio}} + m_{\text{rodas}} + m_{tr} + m_{bat} + m_{\text{motores}} + m_{\text{Carga max}} \\ &= (9,756 + 8,780 + 10,975 + 45,09 + 5 + 20 + 20 + 31 + 20 + 200)kg \\ &= 369,601kg \end{aligned}$$

Para o dimensionamento do motor essa massa será dividida por 2, pois este será traccionado por dois motores acoplados um a cada roda.

$$\text{Logo: } m_{\text{total/motor}} = \frac{m_{\text{total}}}{2} = \frac{369kg}{2} = 184,5kg$$

### 3.2. DIMENSIONAMENTO DO MOTOR

A velocidade linear do veículo é 2m/s, então a potência total dos motores de tracção calculada com os procedimentos a seguir:

A área frontal do veículo, é calculada com base nas dimensões vistas na figura (3.2 b):

$$A_f = 0.90 \times 0.60m = 0.54m^2$$

A densidade do ar varia com a umidade, altitude e temperatura, mas de forma aproximada assume-se um valor igual a 1,25kg/m<sup>3</sup>;

O coeficiente de resistência ao rolamento é obtido da tabela (A4-1) do anexo 4, para uma superfície de concreto ( $f_r = 0,013$ );

O coeficiente de resistência aerodinâmica (ou coeficiente de arrasto) é obtido da tabela (A4-3) do anexo 4 considerando o tipo de veículo conversível aberto ( $C_D = 0,5 \dots 0,7$ );

A velocidade do ar, por simplificação será assumida como zero ( $V_W = 0m/s$ );

A velocidade do veículo foi definida como 2m/s;

A aceleração é tida pela especificação de projecto, que define um tempo de 1/2s para o veículo partir da velocidade 0 à 2m/s ( $a = 4m/s^2$ ).

O angulo de inclinação máxima devido a irregularidade de superfície no pavilhão é de 15°.

Cada roda/pneu está directamente conectada ao seu respectivo motor, com uma eficiência de transmissão, ( $i_g = 0,8$ );

O momento de inércia das rodas, assumindo, por simplificação, para cilindros completamente maciços, será dado por:

$$J_W = \frac{m * r_d^2}{2} = \frac{5kg \times (0,20m)^2}{2} = 0,1kg.m^2$$

O momento de inércia das partes girantes do sistema de tracção referido ao veio do motor será dado por:

$$J \times \frac{\omega_{mot}^2}{2} = J_{mot} \times \frac{\omega_{mot}^2}{2} + J_W \times \frac{\omega_{mot}^2}{2} \rightarrow J = J_{mot} \times \left(\frac{\omega_{mot}}{\omega_{mot}}\right)^2 + J_W \times \left(\frac{\omega_{mot}}{\omega_{mot}}\right)^2$$

$$J = J_{mot} + J_W \rightarrow J = 0,02kg.m^2 + 0,1kg.m^2 = 0,12kg.m^2$$

$$P_{mec} = \left[ 0,013 \times 184,5kg \times \frac{10m}{s^2} \times \cos(15^\circ) + \frac{1}{2} \times \frac{1,25kg}{m^3} \times 0,54m^2 \right.$$

$$\times 0,5 \times \left(\frac{2m}{s} - \frac{0m}{s}\right)^2 + 184,5 \times \frac{10m}{s^2}$$

$$\times \sin(15^\circ) + 184,5kg \times \frac{0,4m}{s^2} + \frac{(0,95^2 \times 0,12kg.m^2 + 0,06kg.m^2)}{(0,20m)^2}$$

$$\left. \times \frac{0,4m}{s^2} \right] \times \frac{2m}{s}$$

$$P_{mec} = 500W$$

$$P_{motor} = \frac{P_{mec}}{\eta_{trans}} = \frac{500W}{0,95} = 526,316W$$

### **3.4. ESPECIFICAÇÃO DO MOTOR ELÉCTRICO**

O primeiro ponto, conforme referido no capítulo II, é relativo ao tipo de motor, os motores mais baratos, de construção simples e conseqüentemente os mais usados são os motores assíncronos, porém pela secção 3.1. é notório que os motores do veículo serão sujeitos a variações graduais de velocidade e os motores assíncronos apresentam muitas limitações neste aspecto, estas variações graduais só são possíveis com recurso a um inversor de frequência.

O segundo aspecto a tomar em consideração é que a fonte é de corrente contínua, sendo assim seria necessário criar uma interface entre a fonte e o inversor de frequência, que transformasse a corrente contínua para corrente alternada, nesse caso, um inversor CC – CA, o que tornaria o custo muito elevado, sem contar que todos esses componentes consomem energia e dissipam calor pelo efeito Joule gerando mais calor no interior do veículo.

O terceiro é que este motor aquece bastante nos processos transitórios sendo que o veículo será sujeito a muitos arranques, frenagens e paragens por vários motivos tais como: tráfego, carga e descarga e em alguns casos recarregamento das baterias.

Todas as razões supracitadas levam-nos a descartar o motor assíncrono como melhor opção para esta aplicação.

Os motores síncronos são menos sensíveis ao abaixamento da tensão da rede, são capazes de fornecer a rede uma potência reativa. Graças ao leve enrolamento de arranque, incorporado no rotor, eles possuem um binário assíncrono de arranque. No entanto, são mais caros que os motores assíncronos, e não permitem controlar a velocidade facto que os descarta como possível solução.

Os motores de corrente contínua são os mais caros, mas possuem boas possibilidades quanto ao controlo da velocidade. Estes prestam-se como melhor solução por possuir essa possibilidade de controle contínuo de velocidade em ampla faixa e por se adequarem perfeitamente as condições da fonte de alimentação.

### **3.5. Dados necessários para seleccionar o motor CC:**

1. Tipo de refrigeração: Circuito fechado de ventilação, auto-ventilado através de trocador de calor Ar-Ar.

2. Classe de isolamento: Classe H com as seguintes características (Aumento de temperatura máxima: 125 ° C, Permissão de temperatura excessiva de ponto quente: 15 ° C, Temperatura máxima do enrolamento: 180 ° C), lembrando que a temperatura máxima do enrolamento é a soma da temperatura ambiente (40 ° C) e o aumento de temperatura permitido.
3. O grau de proteção é (IP 54) por se tratar de um ambiente muito sujo
4. Tensão de armadura: 12V;
5. Potência/Conjugado: o motor deve possuir uma potência mínima de 0,5kW e um conjugado 2,00N.m;
6. Rotação requerida pela carga vista no veio do motor: 1800rpm;
7. Tensão de campo: Por se tratar de um motor de íman permanente este valor não é necessário;
8. Forma construtiva: Motor de corrente contínua, com excitação em íman permanente, tipo 1HA
9. Posição da caixa de ligações e entrada de cabos: Posicionada na parte superior da carcaça.
10. Temperatura ambiente: 40°C
11. Altitude da instalação: não superior ½ m
12. Outros.

Com base nas características acima exigidas pelo catalogo da LEESON para motores eléctricos de corrente contínua de baixa tensão, IEC 71 e 80 Frames, visto na tabela (A6-1) do anexo 6, temos o motor de 0,55 kW, com uma velocidade de 1800rpm, com os seguintes valores de corrente nominal (58A para operação em 12V), binário de 2,917N.m, classe de isolamento H, motor totalmente fechado 1HA, com ventilação forçada, mais detalhes podem ser vistos no catálogo da LEESON no anexo 6.

### 3.6. Relação de transmissão

Sendo a velocidade nominal do motor em rpm de 1800, a sua velocidade angular será

dada por:  $\omega_{motor} = \frac{n_{rpm} \times \pi}{30} = \frac{1800 \times \pi}{30} = 188,5 \text{ rad/s}$ ; e a velocidade requerida nas

rodas é de 2m/s logo:  $\omega_{roda} = \frac{v_{linear}}{r_{roda}} = \frac{2\text{m/s}}{0,2\text{m}} = 10 \text{ rad/s}$ ; e temos para a relação de

velocidades:  $i = \frac{\omega_{motor}}{\omega_{roda}} = \frac{188,5}{10} = 18,85$

### 3.7. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE MANOBRA E DE PROTECÇÃO DO MOTOR

Contactador de linha (KL):  $I_e \geq FS \times I_n \rightarrow I_e \geq 1,15 \times 58A \rightarrow I_e \geq 66,7A$

Pelo catalogo da New Trend temos o contactor com a corrente de emprego de 80A da categoria DC2/ DC3.

Relés térmicos (OL):  $I_e \geq FS \times I_n \rightarrow$

Tendo em conta a correção de temperatura:  $\begin{cases} T \leq 40^\circ C \\ T > 40^\circ C \end{cases} \rightarrow \begin{cases} FS = 1,15 \\ FS = 1,25 \end{cases} \rightarrow I_e \geq$

$1,15 \times 58A \rightarrow I_e \geq 66,7A$ , Pois trata-se de um ambiente com uma temperatura não superior a  $40^\circ C$ .

Fusíveis (F): A partida deste motor será feita com recurso ao chopper de maneira totalmente suave, limitando a corrente a um valor igual a corrente nominal no momento de partida, sendo assim o dimensionamento dos fusíveis não precisa respeitar as restrições de partida. Neste dimensionamento vai apenas garantir-se que o fusível permita o funcionamento do motor em condições de regime e/ou com uma faixa de sobrecarga de até 20%, assim como a protecção dos outros elementos da chave de partida (contactador e relé térmico, para garantir a coordenação da protecção).

$$I_F \geq 1,2 \times I_n \rightarrow I_F \geq 1,2 \times 58A \rightarrow I_F \geq 69,6A$$

Pelo catálogo da WEG temos o fusível NH de 80 A.

$$I_F \leq I_{Fmax, KL} \rightarrow \text{condição verificada}$$

Isto é, o fusível deve proteger o contactador contra a fusão de seus contactos no caso de corte de correntes elevadas.

$$I_F \leq I_{Fmax, OL} \rightarrow \text{condição verificada}$$

Isto é, o fusível deve proteger o relé térmico contra a fusão de seus contactos no corte de correntes elevadas.

### 3.7.1. Coordenação entre os condutores e os dispositivos de protecção

Para que se garanta esta coordenação devem ser verificadas as seguintes condições:

$$1^{\circ}: I_B \leq I_n \rightarrow 58A < 80A \rightarrow \text{Condição verificada}$$

$$2^{\circ}: I_n \leq I_z/k_3 \rightarrow 80A < 90A/1,1 \rightarrow 80A < 81,81A \rightarrow \text{Condição verificada}$$

Onde:  $I_B$  é a corrente de serviço do circuito, em amperes (igual a 58A que é a corrente nominal do motor);  $I_n$  é a corrente estipulada do dispositivo de protecção, em amperes (80A que é a corrente nominal do fusível);  $I_z$  é a corrente admissível na canalização, em amperes (igual a 90A que é a capacidade do condutor) e  $k_2$  é a relação entre o valor da corrente  $I_2$  (corrente convencional de funcionamento, em amperes que garante o funcionamento efectivo do dispositivo de protecção) e a sua corrente estipulada  $I_n$ . Logo a secção do condutor adequada para o circuito de força é de 25mm<sup>2</sup>.

### 3.8. DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE BATERIAS

O dimensionamento das baterias passa pela avaliação técnica que consiste em avaliar os principais parâmetros desta e uma avaliação económica, esta pode ser resumida pela tabela 2.2, que faz uma comparação entre as tecnologias (NiCd, NiMh, Li-Ion, Li-Ion Polímero e Chumbo-Ácido).

As tecnologias Li-Ion Polímero e Chumbo tornam-se inviáveis pelo baixo ciclo de vida, a tecnologia Chumbo peca ainda pelo alto tempo de carga (muito indesejável uma vez que a produção não pode parar por muito tempo).

A tecnologia NiMh tem boas características, mas possui uma alta taxa de auto-descarga mensal e necessita de manutenção periódica.

Aparentemente as tecnologias com as melhores propriedades são as de NiCd e Li-Ion, porém a NiCd tem a grande desvantagem de apresentar os impactos ambientais mais negativos em comparação com as restantes tecnologias, facto que leva ao desuso desta em alguns países. Nestas condições a solução que se presta melhor é a tecnologia Li-Ion.

Pelo catálogo da CGA-55340XA, High voltage charge system temos a bateria 3,8V e 1013mAh

A energia necessária pode ser dada por:

O veículo leva não mais que 1 minuto para fazer uma volta completa, sendo que em uma volta completa este percorre 60 metros à uma velocidade de 2m/s (consumindo um tempo de 30s), leva 30 segundos no ponto de carga e pára no ponto de descarga por 30s. Assumindo que este pára por trafego em pelo menos 10% do tempo, o tempo útil em uma hora é de 54min, logo o número de voltas que nos vai dar a distância percorrida pelo veículo pode ser obtida pela razão entre o tempo disponível em uma hora e o tempo que este leva para completar um ciclo ( $n_{voltas} = 54min/1,5min = 36$  voltas que correspondem à  $60m \times 36 = 2160m = 2,16km$ ).

O consumo médio de energia:  $Cons_{med} = (U \times I)/\Delta x \rightarrow \frac{12V \times 58A}{2,16km} = 32,222kWh/100km$ , e a energia necessária, pela equação (2.5) tem-se:

$$E_{necess} = 10 \times Cons_{med} \times N_{km} = 10 \times 32, \times (4 \times 2,16) = 2784 kWh;$$

o 4 na equação representa as 4 horas de um serviço contínuo, compreendido entre as 8 e 12horas e entre as 13h30 e 17horas.

O consumo necessário é dado pela equação (2.6):

$$Cons_{necess} = \frac{E_{necess}}{V_{bat} + \frac{DoD_{max}}{100} \times \left(\frac{100 - AD_{sem}}{100}\right)} = \frac{2784}{12 + \frac{80}{100} \times \left(\frac{100 - 1}{100}\right)} = 217,636 Ah$$

O número de baterias em paralelo é dado pela equação (2.7):

$$n_p = \frac{Cons_{necess}}{Cons_{unid}} = \frac{217,636Ah}{1310mAh} = 166,134 \cong 167 \text{ baterias em paralelo}$$

Os dois motores estarão ligados em paralelo a fonte de alimentação, havendo necessidade de se duplicar o número de baterias em paralelo  $2 \times 167 = 334$  acrescida a quantidade de baterias necessárias para alimentar os elementos electrónicos de controle e sinalização teremos um total de 360 baterias.

O número de baterias em série é dado pela equação (2.8):  $n_s = \frac{V_{bat}}{V_{unid}} = \frac{12V}{3,8V} = 3,157 \cong$

*4 baterias em série*

Forma-se uma matriz com um total de  $4 \times 360 = 1440$  baterias, com um peso total de  $21,5g \times 1440 = 30,96kg$ , com o aspecto físico visto no anexo A4.

Para satisfazer melhor as especificações do projecto e mediante a análise comparativa feita na tabela 2.1, verificou-se que as baterias de Lítio apresentam as

melhores características do ponto de vista técnico em comparação com as demais, pois possuem uma alta densidade de carga. A bateria de lítio-íon é conhecida como Li-Ion (do Inglês “lithium-ion”). É usada quando se deseja alta densidade de energia e peso leve.

Foi então com base nas características descritas acima selecionada a bateria com as seguintes características: tensão de célula de 3,8 V, Capacidade de corrente de 1,030Ah, largura de 33mm, altura total de 49,45mm, comprimento de 4,55mm e um peso de 17,6 g.

### 3.9. LAYOUT DA PLANTA

A figura (3.4) representa o arranjo físico da planta, com as filas de blocos intercaladas com as faixas de orientação. Na máquina de produção é onde os blocos são produzidos (ponto de carga do veículo), a cancela bloqueia a passagem do veículo (através do seu sensor de detecção de obstáculo) até que este esteja completamente carregado, ou em caso de avaria na máquina de produção, até que esta esteja resolvida. O veículo descreve um sentido único seguindo a faixa de orientação, conforme ilustrado na figura (3.4). O mesmo layout pode ser visto em 3D no anexo 3, para melhor clareza do fenómeno (figura A3-1 e A3-2), com as respectivas forças actuantes no veículo (conforme referido na secção 2.2) com e sem carga.

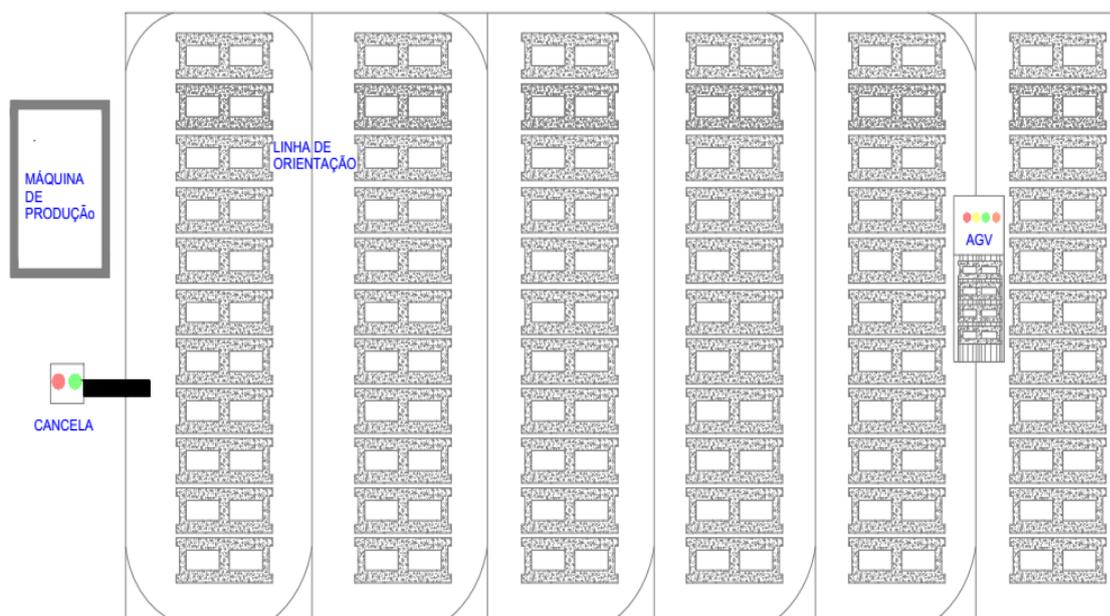


Figura 16: (3.6): Layout da planta da fábrica

Fonte: Adaptação do autor

### **3.10. ARRANJO FÍSICO DOS COMPONENTES NO INTERIOR DO INVÓLUCRO (LAYOUT)**

A figura (3.5) representa de forma esquemática os principais componentes internos do AGV, com as setas indicando o fluxo dos sinais de tensão e corrente mostrando a comunicação entre os diferentes órgãos do veículo (sensor frontal, sensor lateral esquerdo, sensor lateral direito, a placa do Microcontrolador Arduino UNO R3, os leds de sinalização, o motor do lado esquerdo (M1), o motor do lado direito (M2), os choppers que controlam a tensão entregue aos motores, o conversor de tensão cc-cc que converte o sinal de tensão com amplitude de 12VCC em 5VCC para alimentar a placa Arduino, a placa do banco de baterias na qual são efectuadas as respectivas conexões série- paralelo e o próprio banco/ pack de baterias).

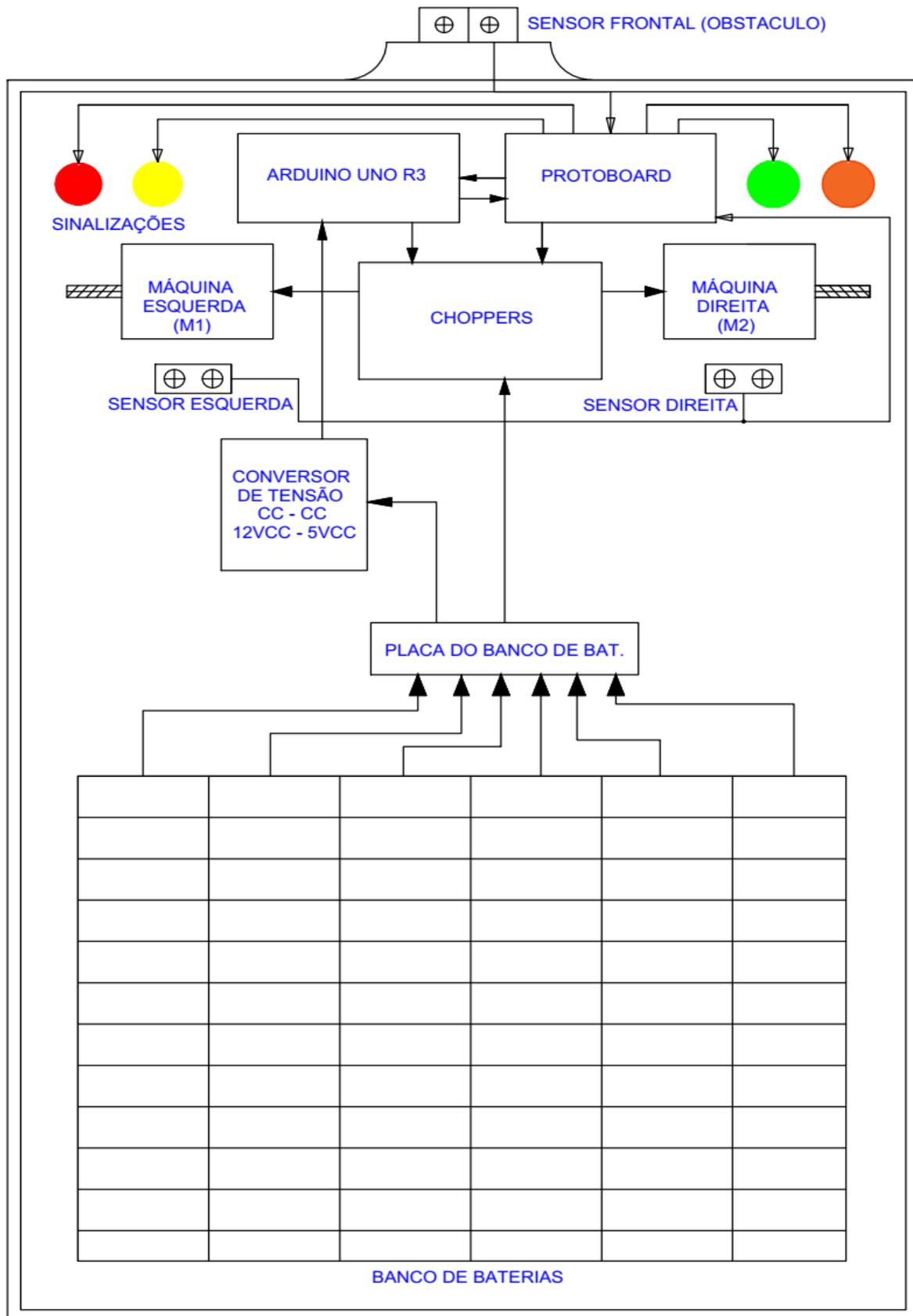


Figura 17: (3.7): Arranjo físico dos componentes interno do veículo

Fonte: O autor

Mais detalhes relativos a montagem dos componentes no interior do veículo podem ser vistos na figura A9-1 do anexo 9, que mostram a montagem do veículo em três (3) dimensões para melhor visualização.

### **3.12.1. Componentes do circuito**

T1E, T2E, T3E e T4E: transístores do chopper do motor da esquerda;

D1E, D2E, D3E e D4E: diodos do chopper do motor da esquerda;

T1D, T2D, T3D e T4D: transístores do chopper do motor da direita;

D1D, D2D, D3D e D4D: diodos do chopper do motor da direita;

### **3.12.2. Controlo dos conversores choppers**

PWM1: comanda T4E e T4D; PWM2: comanda T3E e T3D;

PWM3: comanda T1E; PWM4: comanda T1D;

PWM5: comanda T2E; PWM6: comanda T2D;

## **3.11. Programação: Definição de variáveis**

### **➤ Variáveis de entrada:**

**K1:** ciclo de trabalho do PWM1; **K2:** ciclo de trabalho do PWM2;

**K3:** ciclo de trabalho do PWM3; **K4:** ciclo de trabalho do PWM4;

**K5:** ciclo de trabalho do PWM5; **K6:** ciclo de trabalho do PWM6;

**Sf:** refletância do sensor frontal;

**Smin:** refletância mínima estabelecida para a existência de um obstáculo;

**SE:** refletância do sensor do lado esquerdo;

**SD:** refletância do sensor do lado direito;

### **➤ Variáveis de saída:**

**VE:** Tensão na armadura do motor do lado esquerdo;

**VD:** Tensão na armadura do motor do lado direito;

### 3.13.1. Pseudocódigo

#### Início

#### Setup

1. Inicializar todos os k;
2. Ligar a saída 1 // (saída que acciona o relé que irá accionar o contactor de linha);
3.  $K1 = 255$ ;

#### Loop

1. Se Pino D2 = 1, então ir para 5  
Senão
2. Se  $S_f \geq S_{min}$  então:  
 $k1 = k2 = k3 = k4 = k5 = k6 = 0$   
senão:  $k1 = 1$
3. Se  $SE < SD$  então:  
Enquanto  $k3 \leq 204$  e  $k4 \geq 0$ , incrementar  $k3$  ( $k3 = k3 + 1$ ) e decrementar  $k4$  ( $k4 = k4 - 1$ );  
Senão
4. Se  $SE > SD$  então:  
Enquanto  $k4 \leq 204$  e  $k3 \geq 0$ , incrementar  $k4$  ( $k4 = k4 + 1$ ) e decrementar  $k3$  ( $k3 = k3 - 1$ );  
Senão  
Enquanto  $k3 \leq 0.8$  e  $k4 \leq 204$ , incrementar  $k3$  e  $k4$  ( $k3 = k3 + 1$  e  $k4 = k4 + 1$ );
5.  $k1 = 0$ ,  $k3 = 0$  e  $k4 = 0$  e  $k2 = 1$   
Se  $SE < SD$  então:  
Enquanto  $k5 \leq 204$  e  $k6 \geq 0$ , incrementar  $k5$  ( $k5 = k5 + 1$ ) e decrementar  $k6$  ( $k6 = k6 - 1$ );  
Senão  
Se  $SE > SD$  então:  
Enquanto  $k3 \leq 204$  e  $k4 \leq 204$ , incrementar  $k3$  e  $k4$  ( $k3 = k3 + 1$  e  $k4 = k4 + 1$ );  
Senão

Enquanto  $k5 \leq 204$  e  $k6 \leq 204$ , incrementar  $k5$  e  $k6$  ( $k5 = k5 + 1$  e  $k6 = k6 + 1$ );

### 5.14. Fluxograma

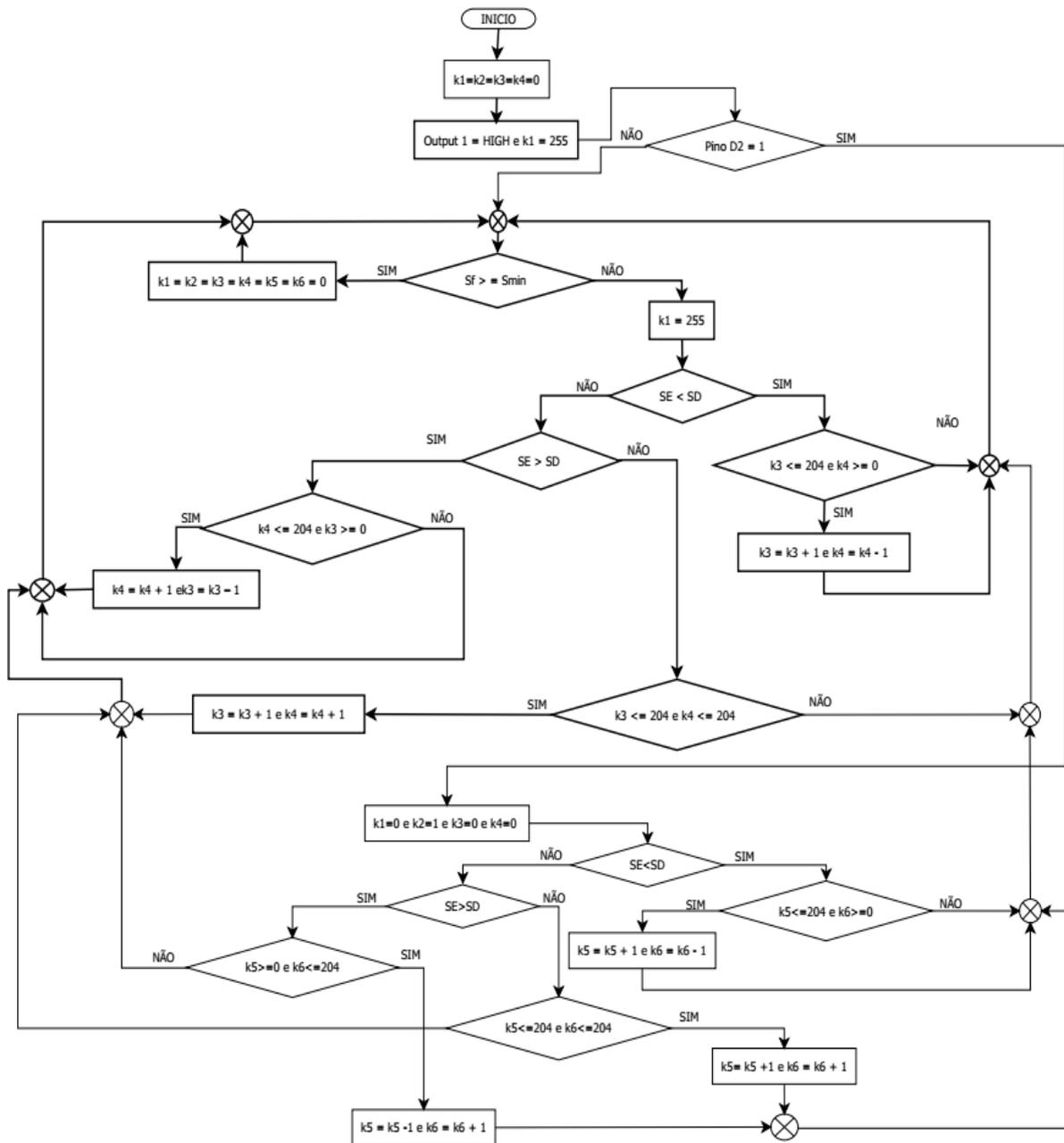


Figura 18: (3.8): Fluxograma do programa de controlo do veículo

Fonte: Autor

## 5.15. Código do programa em linguagem de máquina (Arduino)

```
int start = 8;
int pwm1 = 3;
int pwm2 = 5;
int pwm3 = 6;
int pwm4 = 9;
int pwm5 = 10;
int pwm6 = 11;
const int TRIGGER = 4;
const int ECHO = 7;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  pinMode (pwm1, LOW); // INICIALIZA TODAS AS SAIDAS PWM
  pinMode (pwm2, LOW);
  pinMode (pwm3, LOW);
  pinMode (pwm4, LOW);
  pinMode (pwm5, LOW);
  pinMode (pwm6, LOW);

  pinMode (start, OUTPUT);
  digitalWrite (start, HIGH); // Liga o rele que acciona o contactor do circuito indutor
  pinMode (TRIGGER, OUTPUT);
  pinMode (ECHO, INPUT);
  Serial.begin (9600); // Para exibir no monitor serial

  pinMode (pwm1, HIGH);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  if ((D2 = 1),
  pinMode (pwm1, LOW);
  pinMode (pwm2, HIGH);
  pinMode (pwm3, LOW);
  pinMode (pwm4, LOW);)
  else
    if {
      (sensorEsquerdo > sensorDireito);
      do (pwm5 ++ && pwm6 --);
      while (pwm5 <= 204 && pwm6 >= 0);
    else
      if {
        sensorEsquerdo < sensorDireito
        do (pwm5 -- && pwm6 ++);
        while (pwm5 >= 0 && pwm6 <= 204);
      else
        do (pwm5 ++ && pwm6 ++);
        while (pwm5 <= 204 && pwm6 <= 204);
    else
  if ({
    (ECHO == 1, pinMode (pwm2, LOW);
  pinMode (pwm3, LOW);
  pinMode (pwm4, LOW);
  pinMode (pwm5, LOW);
  pinMode (pwm6, LOW);)
```

```

else
  if {
    (sensorEsquerdo > sensorDireito);
    do (pwm3 ++ && pwm4 --);
    while (pwm3 <= 204 && pwm4 >= 0);
  }
  else
    if {
      sensorEsquerdo < sensorDireito
      do (pwm3 -- && pwm4 ++);
      while (pwm3 >= 0 && pwm4 <= 204);
    }
    else
      do (pwm3 ++ && pwm4 ++);
      while (pwm3 <= 204 && pwm4 <= 204);
  }
}
}
}
float distancia = pulse ();
delay (500);
}
int sensorEsquerdo = analogRead (A0);
int sensorDireito = analogRead (A1);
float pulse () {
  digitalWrite (TRIGGER, LOW);
  delayMicroseconds (10);
  digitalWrite (TRIGGER, HIGH);
  delayMicroseconds (10);

  digitalWrite (TRIGGER, LOW);
  long duration = pulseIn (ECHO, HIGH);
  return duration / 58.0;
}
}
}

```

## 5.16. Curvas características resultantes das simulações

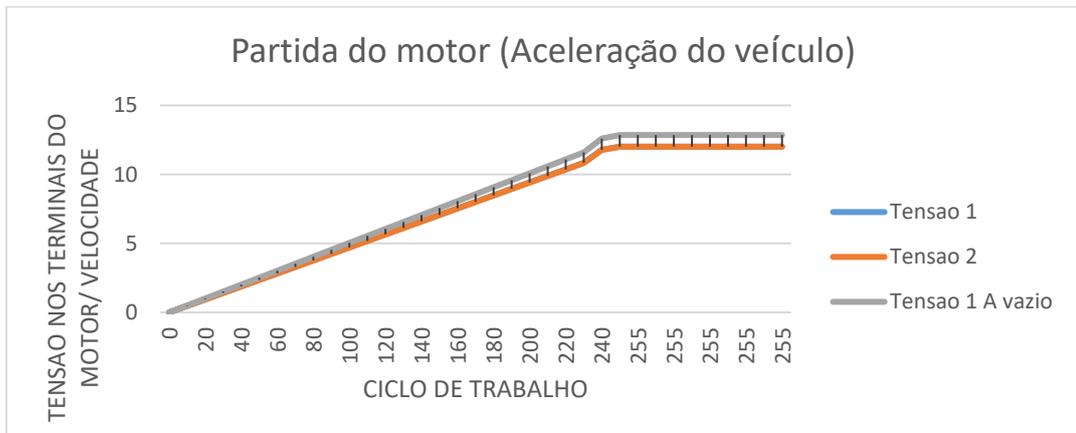


Figura 19: (3.9): Partida do motor no sentido de avanço

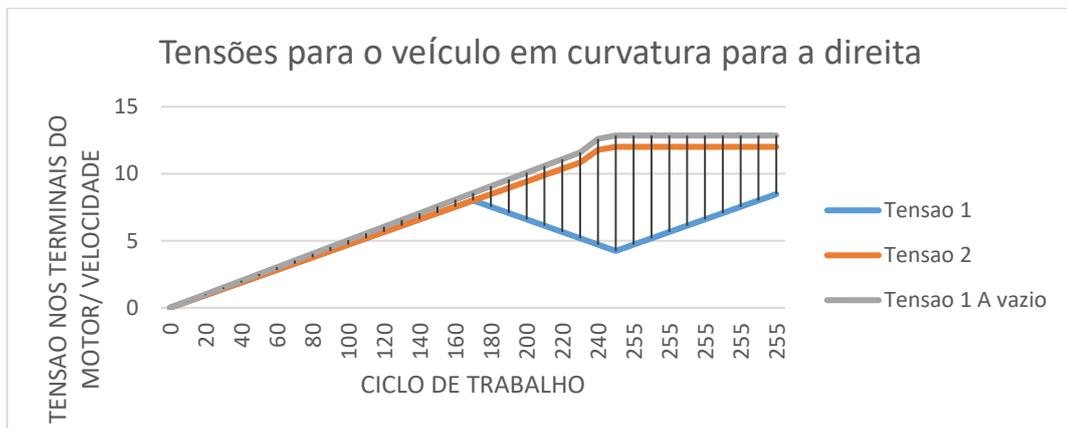


Figura de 20: (3.10): Curvatura do veículo para a direita

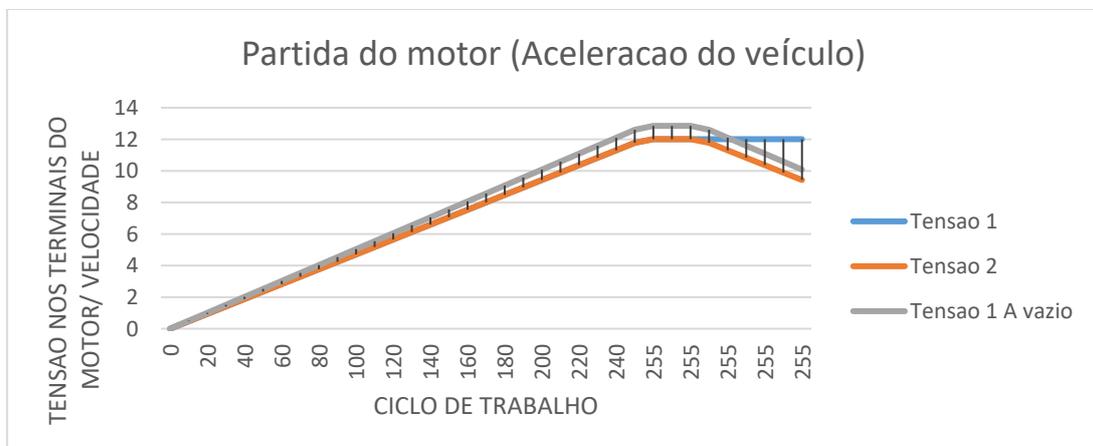
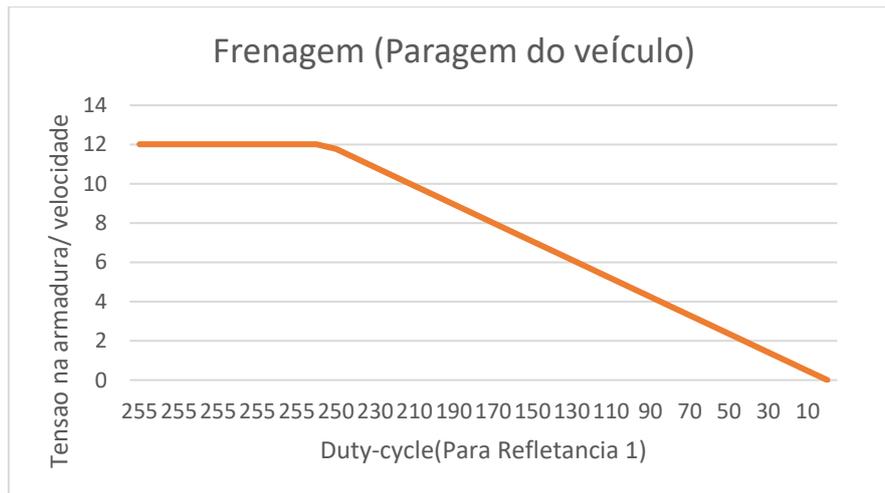


Figura 21: (3.11): Curvatura do veículo na partida para a direita



**Figura 22: (3.12): Paragem do veículo pela deteção de um obstáculo**

### Discussão dos resultados

Das curvas acima tiram-se as seguintes conclusões: na figura (3.7) mostra-se a característica de tensão em função do ciclo de trabalho que mostra o crescimento linear da tensão condicionado pelo crescimento gradativo do ciclo de trabalho a cada período de comutação até atingir 100% e entrega-se, nesse momento, ao motor tensão nominal, rodando consequentemente a velocidade nominal.

A figura (3.8) temos duas curvas das quais a curva em cor laranja representa a tensão nos terminais do motor 1 (o do lado esquerdo do veículo) e a em cor azul representa a tensão no motor 2 (o do lado direito), estas representam o veículo descrevendo uma curva para a direita no momento de arranque, nota-se que os dois recebem um incremento de tensão gradual e linear até que surge a necessidade de descrever uma curva para a direita e reduz-se o ciclo de trabalho do motor 2 (direita, curva azul) e incrementa-se a tensão do motor 1 (esquerda, curva laranja), até que se estabiliza no centro da trilha e a tensão do motor 1 (azul) volta a subir até atingir a tensão nominal. Os comentários feitos em (3.8) são válidos para (3.9) com a exceção de que neste caso a curva é descrita com o veículo na velocidade nominal (tensão nominal nos motores).

A figura (3.10) ilustra a característica da tensão nos terminais dos motores no regime de frenagem (paragem do veículo).

## CAPÍTULO IV: ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÓMICA DO PROJECTO

### ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SISTEMAS USANDO

### EMPILHADEIRAS E OS SISTEMAS USANDO AGV

A análise pode facilmente ser feita pelas tabelas (4.1) e (4.2) que apresentam os resultados obtidos em um estudo de caso, comparativos do ponto de vista económico, entre as duas formas de transporte.

**Tabela 3:** 4.1 – Custos com o Sistema de Movimentação de Materiais com empilhadeiras

<b>Custo com empilhadeiras</b>	<b>Considerações por ano</b>	<b>Total anual</b>
Mão de obra (Pilotagem)	1 Pessoa	MZ\$ 120000,00
Aquisição	1 Equipamento	MZ\$ 112287,6
Manutenção	Preventiva	MZ\$ 45000,00
Combustível	Gasolina	MZ\$ 90000,00
Erro humano	Indisciplina e colisões	MZ\$ 15000,00
<b>TOTAL</b>		<b>MZ\$ 382287,6</b>

**Tabela 4:** 4.2 – Custos com o Sistema de Movimentação de Materiais com AGV.

<b>Custo com AGV</b>	<b>Considerações por ano</b>	<b>Total anual</b>
Mão-de-obra (Pilotagem)	---	MZ\$ 0,00
Aquisição (Montagem do veículo)	1 Equipamento	MZ\$ 206264,396
Manutenção	Preventiva	MZ\$ 50000,00
Combustível	Baterias e energia/ ano	MZ\$ 50000,00
Erro humano	-----	MZ\$ 0,00
<b>TOTAL</b>		<b>MZ\$ 306264,397</b>

Através da comparação do custo anual com empilhadeiras e com AGV pode-se acompanhar o ganho obtido através do sistema com AGV. Através dos resultados apresentados, observa-se que o retorno do investimento do AGV é maior comparado com a empilhadeira, mostram ainda estes resultados que consegue-se uma redução do custo anual em 19,88%. Apesar desta análise considerar apenas os ganhos económicos, considerando para isto os ganhos de processo, salienta-se que os ganhos relacionados as questões de segurança também são relevantes pois com a

implementação do sistema AGV, a possibilidade de acidentes de trabalho foi praticamente eliminada.

### Viabilidade económica do projecto

A tarefa de transporte de blocos da máquina de produção a área de secagem nesta unidade é actualmente executada por carinhos de mão por três (3) operários que contam com uma remuneração mensal de 7 mil meticais totalizando um valor de 21 mil meticais mensal gasto com o custo de mão-de-obra, em um período de um (1) ano e três (3) meses o total gasto com a mão-de-obra é de 315 mil meticais, que corresponde a um valor 8735,603 acima do valor efectivamente necessário para a construção e operação do AGV, isto é, o retorno do valor da construção do AGV consegue-se em 1 ano e 3 meses, findo este período resta a empresa apenas suprir as despesas associadas a operação do veículo (manutenção, energia eléctrica), conclui-se daí que esta é uma solução viável para o problema em causa.

As curvas na figura (4.1) mostram claramente que passados quinze (15) meses o valor acumulado de pagamento dos operários supera o valor gasto com a implementação do AGV, que a partir desse momento regista-se o retorno do investimento e ficamos apenas com o custo de energia eléctrica e baterias que se fixa em 50 mil MZN.

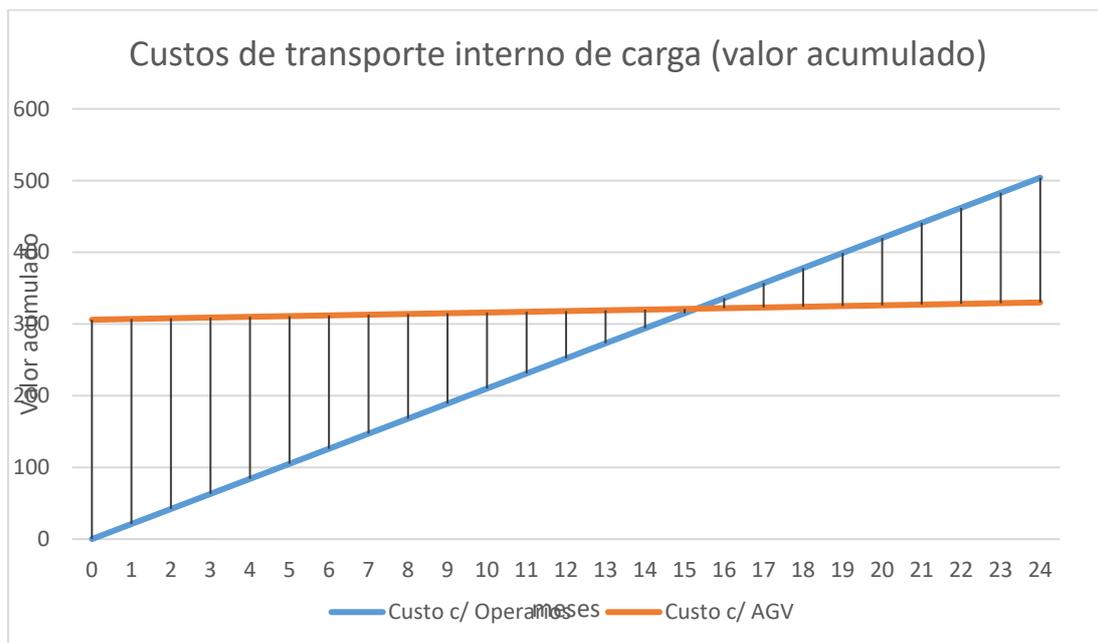


Figura 23: (4.1): Características de tempo (meses) versus custos de transporte (acumulado)

## CAPITULO V: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS EQUIPAMENTOS

### 5.1. REGULADOR DE TENSÃO

Parâmetros	Máx	Unid.
Tensão de entrada	6 - 12	V
Tensão de saída	5	V
Dissipação de Potência	Baixa (%)	W

### 5.2. MOSFET

Fabricante: International IOR Rectifier, Referência: IRL7833PbF

	PARÂMETROS	Máx.	Unidade
$V_{DS}$	Tensão entre dreno – fonte	30	V
$V_{GS}$	Tensão porta – fonte	$\pm 20$	V
$I_D @ T_c = 25^\circ C$	Corrente de dreno contínua, $V_{GS} @ 10V$	150	A
$I_D @ T_c = 100^\circ C$	Corrente de dreno contínua, $V_{GS} @ 10V$	110	A
$I_{DM}$	Corrente de dreno pulsada	600	A
$P_D @ T_c = 25^\circ C$	Máxima dissipação de potência	140	W
$P_D @ T_c = 100^\circ C$	Máxima dissipação de potência	72	W
	Factor de redução linear	0,95	W/°C
$T_J$ $T_{STG}$	Juncão de operação e Temperatura admissível	-55 a +175	°C
	Torque de montagem, 6-32 ou pressão M3	10 lbfin (1.1Nm)	
RDS(on)	Resistência dreno – fonte	3,8	mΩ

### 5.3. SENSOR ULTRASSÔNICO HC-SR04

Parâmetros	Máx.	Unid.
Tensão de operação	5	V
Corrente de operação	15	mA
Frequência de operação	40	Hz
Alcance máximo	4	M
Alcance mínimo	2	Cm
Ângulo de medição	15	Graus
Dimensões	45*20*15	Mm

### 5.4. MOTOR

#### IEC 80 FRAME DC MOTOR

Parâmetros	Máx.	Unid.
Tensão	12	V
Corrente	146	A
Potência	500	W

Rotações por minuto	1800	Rpm
Regime de serviço	S1	
Torque	1.8	N.m
Construção	Imã permanente	
Comutação	Escovas	
Peso	4	Kg

## 5.5. RELÉ DE INTERFACE

### Família Inter01, Grupo Zilocchi

	Parâmetro	Máx.	Unid.
	Tensão	5	V
Dimensões	Comprimento	90	mm
	Altura	55	mm
	Largura	22	mm
Segurança	Fabricado com material anti-chama		
Sinalização	LED verde de indicação de accionamento		

## 5.6. DIODO RETIFICADOR

Referência: 1N4001 ou 1N4148

Parâmetros	Máx.	Unid.
Tensão de bloqueio	5	V
Tensão directa	0,7	V
Dissipação de potência	738	mW

## RESISTOR

Parâmetros	Máx.	Unid.
Tensão	12	V
Resistência	220	$\Omega$
Tolerância	1%	
Cor	Azul	

## CONTACTOR

Parâmetros	Máx.	Unid.
Potência	$\frac{1}{4}$	W
Tensão de comando	12	Vcc
Corrente	80	A
Largura	66	Mm
Altura	116,5	Mm
Profundidade	145	Mm
Grau de protecção	IP 21	

Numero de contactos principais	3	
Contactos auxiliares	2 NF e 2 NA	
Categoria de emprego	DC 2/ DC 3	

## RELÉ TÉRMICO

Parâmetros	Máx.	Unid.
Corrente de ajuste	63 ... 80	A
Tensão de isolamento	600	V
Tensão nominal de impulso suportada	6	kV
Compensação de temperatura	-20 ... 60 °C	
Torque de aperto (No circuito de controlo)	1,7	N.m
Torque de aperto (No circuito de força)	9	N.m
Altura	100	Mm
Largura	75	Mm
Profundidade	121	Mm
Peso líquido	0,535	Kg
Grau de proteção	IP20	

## FUSÍVEL

Parâmetros	Máx.	Unid.
Corrente nominal de operação	80	A
Tensão máxima de operação	500	V
Poder de corte	100	kA
Classe de utilização	gL – gG	
Accão	Retardada	
Categoria	Fusível tipo NH	
Largura	21	Mm
Altura	40	Mm
Profundidade	78	Mm

## 5.7. ARDUINO

### UNO R3

Parâmetros	Máx.	Unid.
Tensão de operação	5	V
Tensão de entrada (recomendada)	7 – 12	V
Tensão de entrada (limite)	6 – 20	V
Corrente DC por pino E/S	20	mA
Corrente DC para 3,3V por pino	50	mA
Pinos digitais E/S	14 (dos quais 6 possuem PWM)	
Pinos de entrada analógica	6	
Memoria Flash	32 KB (ATmega328P) dos quais 0,5KB são usados pelo bootloader	
SERAM	2 (ATmega)	KB

EEPROM	1 (ATmega)	KB
VELOCIDADE DO CLOCK	16	MHz
LED BUILTIN	13	
Comprimento	68,6	mm
Largura	53,4	mm
Peso	25	g

## BATERIAS

Parâmetros	Máx.	Unid.
Tensão nominal	3,8	V
Capacidade nominal	1030	MAh
Largura	33,8	Mm
Espessura	4,55	Mm
Altura	49,45	Mm
Peso	17,6	G

## Estimativa de custo

Item	Quantidade (un)	Preço(MZN)
Chapas de ligas de alumínio	3	24225,00
Chapas de ferro fundido	1	14500,00
Rebites	5	500,00
Rodas	4	1720,00
Redutor de velocidade	2	4274,0568
Veio/ eixo	1	5000,00
Parafusos	2	360,00
Motor eléctrico	2	31000,00
Regulador de tensão	1	100,00
Kit de protoboard e jumpers	1	686,00
LEDs	6	90,00
Arduino UNO R3	1	2100,934
Díodo de proteção (Roda livre) 5V	2	50
Díodo de Potência (70A)	8	12552,832
Resistor	20	200
Contactador	2	21000
Relé térmico	2	1740,00
Fusível	4	608,04
Relé de interface 5V	1	213,56
Sensor ultrassônico HC-SR04	1	207,827
Sensor de distância	1	1526,327
MOSFET de potência (80A, 12V)	8	1124
Cabo eléctrico de força (multifilar 25mm <sup>2</sup> )	50m	19340
Baterias	1440	20345,82
Canaleta	1	300,00
Carregador	1	12500
Custos de montagem		30000
<b>TOTAL</b>		<b>206264,3968</b>

## CAPITULO VI: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1. Conclusões

Os veículos guiados automaticamente são o que se tem de “*top*”, até então na indústria 4.0, quando o assunto é transporte de materiais, pois trata-se de veículos altamente inteligentes com capacidade de tomar um grande número de decisões. Quando se vai dimensionar o invólucro (estrutura) de um veículo para o transporte de cargas devem ser escolhidos tanto o material quanto a espessura em função do tipo de carga que será transportada e das solicitações mecânicas a que este ficará sujeito durante sua operação. A escolha do material com as melhores características mecânicas está, muitas vezes associado ao elevado custo e elevado peso da estrutura, facto que condiciona o aumento da potência do motor necessário para a tracção.

A seleção dos motores não é feita apenas garantindo que este consiga accionar a carga instalada, pois há diversos factores que devem ser levados em consideração quando se dimensiona o motor de tracção de um veículo, isto é, todas as condições aerodinâmicas. A especificação do motor é muitas vezes condicionada pelo custo, fonte de alimentação e outros factores, o motor mais comodo do ponto de vista técnico e económico é sem dúvidas o motor de indução, porém nesta aplicação estamos dependentes de uma fonte de corrente contínua o que implicaria haver necessidade de um inversor DC-CA e um inversor de frequência para variar a velocidade do veículo, seria bastante dispendiosa, esta solução. Daí a opção por um motor de corrente contínua que apesar de ser de elevado custo é muito cómodo no controlo de velocidade, através de circuitos muito simples.

A instrumentação necessária para a constituição do sistema de controlo automático é feita em função das condições ambientais e das variáveis a serem sensorizadas durante o processo.

Há diversos microcontroladores disponíveis no mercado, porém o Arduino é um microcontrolador com uma linguagem de programação relativamente simples acompanhado de um custo baixo do dispositivo, pode ser reprogramado diversas vezes em caso de erro de operação do veículo ou caso haja necessidade de alterar a lógica de funcionamento, isto é, trata-se de um microcontrolador muito versátil.

O controlo contínuo de tensão é melhor obtido por um circuito chopper que faz esse controlo comutando os transístores através de moduladores PWM.

Um dos grandes ganhos do AGV além de produtividade, baixo custo e controlo é a segurança, este sistema tem uma velocidade contínua programada e é equipado de sensores ópticos e ultrasônicos em todos os lados, o que os confere a inteligência necessária a tomada de decisões nas condições adversas de operação, evitando colisões com seus obstáculos (p/ ex. operadores, outros equipamentos e outros veículos), problemas estes que são corriqueiros (excesso de velocidade e falta de atenção) quando temos operadores conduzindo veículos em uma fábrica (empilhadeiras).

Os principais benefícios na utilização de veículos guiados automaticamente estão na redução dos custos com mão-de-obra, maior flexibilidade no manuseamento e transporte dos materiais, melhor organização da programação do processo, melhor utilização do espaço disponível, maior segurança dos sistemas e aumento da produção.

No fim da análise desta pesquisa foi possível constatar que o tempo de transporte dos blocos da máquina de produção a área de secagem reduz em 40% e o risco de acidentes foi reduzido. O uso empilhadeira nessa aplicação seria muito dispendioso e não justificaria o investimento e fica claro pelos resultados numéricos apresentados na análise de viabilidade económica do projecto que consegue-se um ganho económico em relação as empilhadeiras de 19,88% e o retorno do investimento consegue-se em 1 ano e 3 meses, factores estes que levam-nos a concluir que esta solução é economicamente viável.

## 6.2. Recomendações

Todo o técnico que se predispõe a projectar um veículo eléctrico precisa levar em consideração os seguintes aspectos:

No dimensionamento do invólucro de um veículo eléctrico é recomendável optar por ligas (ex. ligas de alumínio com aço), esta opção proporciona a estrutura menor peso e boa resistência mecânica a um custo relativamente baixo.

A selecção dos motores de tração deve ser feita mediante o resultado da avaliação dos principais parâmetros e garantindo sempre este consiga com perfeição suprir a carga instalada sem apresentar defeito durante a operação.

Quando se requer um controlo a alta frequência e baixa tensão é aconselhável o uso de MOSFET ou IGBT quando forem tensões altas.

Quando se está diante de um problema de selecção de baterias para suprir a uma carga deve-se além de avaliar as características técnico-económicas avaliar-se o impacto ambiental destas, que é um factor que deve ser tomado em consideração, senguê também a avaliação do tempo de carga, este factor torna-se determinante quando a carga é um veículo eléctrico pois determina quanto tempo efectivamente o veículo ficará fora de serviço enquanto recarrega a sua bateria. Os sensores de reflectância devem ser limpos periodicamente para evitar erros durante a sua operação.

Sempre que se vá proceder a logística dos materiais na industria ou no sector comercial o proprietário ou gerente do sector de logística deve sempre que possível avaliar a implementação de AGV em substituição das empilhadeiras, pois estes apresentam qualidades atractivas do ponto de vista técnico e económico, contudo esta avaliação passa pela análise das condições do ambiente fabril (ex: o piso da fábrica que é um dos factores determinantes, a disponibilidade de energia eléctrica, etc.).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Lucas Filipe Araújo. **VEÍCULO AUTO GUIADO (AGV - AUTOMATED GUIDED VEHICLE) - PROTÓTIPO SEGUIDOR DE LINHA**. Brazil, 2016, 83 p (Trabalho de Conclusão de Curso submetida à banca examinadora do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, para obtenção do grau de Graduação em Engenharia Elétrica).

DE SOUZA, José, ROYER, Rogério, **IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA AGV - VEÍCULO GUIADO AUTOMATICAMENTE UM ESTUDO DE CASO**, Brazil – Salvador, 11 de outubro de 2013.

LUO, Fang Lin, YE, Hong, **ADVANCED DC/DC CONVERTERS**, Estados Unidos – Nova York, 2003.

MARCONI, Maria de Andrade, LAKATOS, Eva Maria, **FUNDAMENTOS DE METODOLOGIA CIENTIFICA**, 5ª edição, Atlas S.A, São Paulo, 2003, (311 p.).

MOTA, Ricardo Fábio da Silva. **SENSOR DE DISTÂNCIA POR INFRAVERMELHOS PARA A CARACTERIZAÇÃO DO ESPAÇO DE TRABALHO**. Portugal – Lisboa, 2018, Tese, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

PÉREZ, Omar Lengerke, **UMA ARQUITETURA MECATRÔNICA DE NAVEGAÇÃO PARA VEÍCULOS COM REBOQUES GUIADOS AUTOMATICAMENTE EM AMBIENTES DE SISTEMAS FLEXÍVEIS DE MANUFATURA**, Brazil – Rio de Janeiro, 2010, 203 p. (Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Mecânica).

PETRY, Márcio Luís, **CONTROLE HÍBRIDO DE UM ROBÔ AUTÔNOMO SEGUIDOR DE LINHA**, Brazil, 2016, 83 p. (Trabalho de Conclusão do Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia de Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco).

PSCHEIDT, Élio Rubens, **ROBÔ AUTÔNOMO – MODELO CHÃO DE FABRICA**, Brazil – Curitiba, 2007, 58 p. (Monografia apresentada à disciplina de Projeto Final do Curso de Engenharia da Computação).

ROCHA, Helder da, INTRODUCAO AO ARDUINO, acesso em ([www.elctronicaparaartistas.com.br](http://www.elctronicaparaartistas.com.br): 11.07.2021, as 23h27), Brazil, agronavis, 2017.

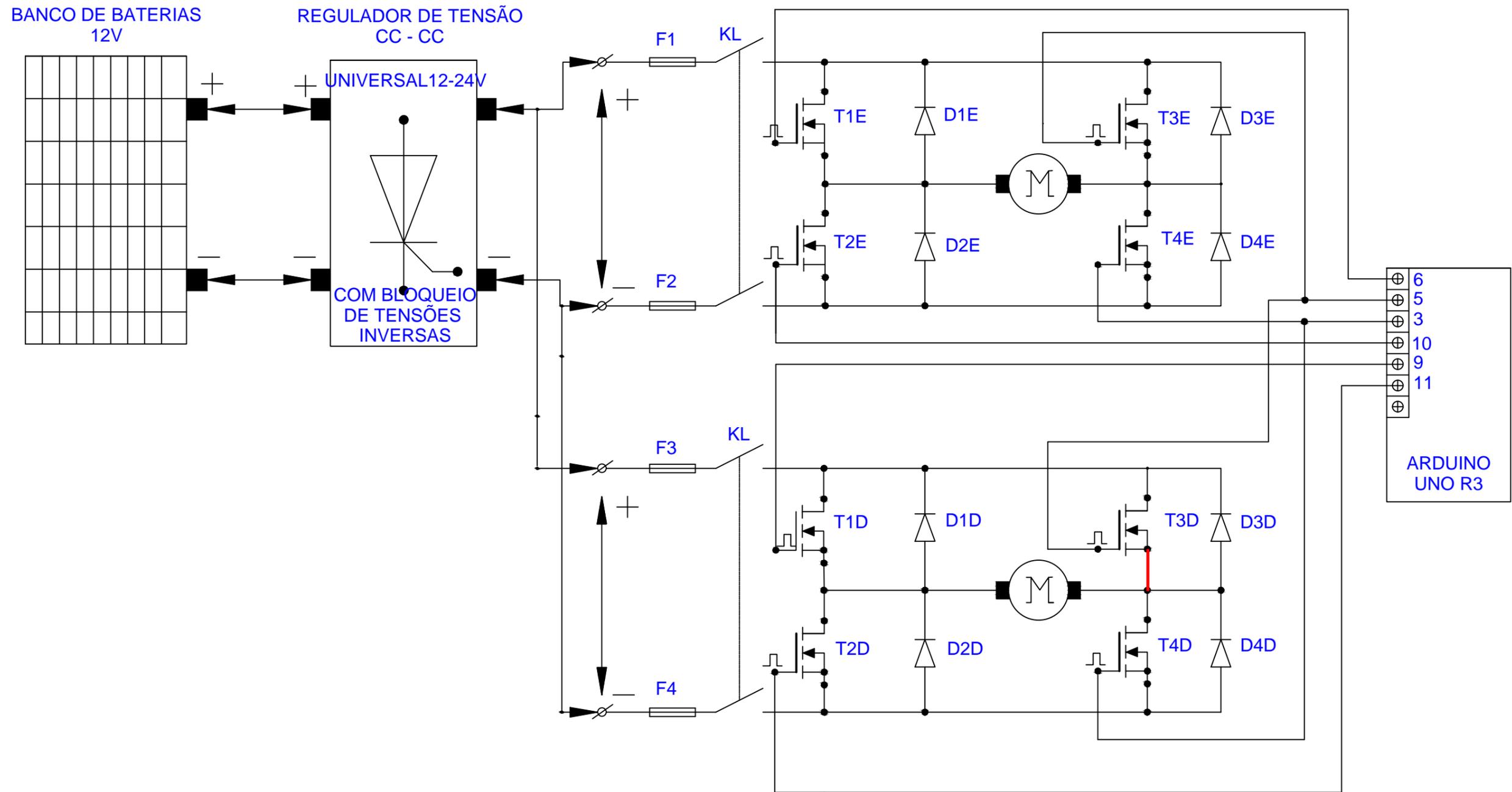
ROGGIA, Leandro, FUENTES, Rodrigo Cardozo, **AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**, etec – brazil, (Colégio Técnico Industrial de Santa Maria). Brazil – Santa Maria, 2016, (102 p).

STA ELECTRONICA, **MANUAL DAS BATERIAS RECARREGÁVEIS, PILHAS E CARREGADORES**, Brazil, [s. d], [s. n. t].

TANAKA, Carlos Naomi. **METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRACCAO PARA VEICULOS ELECTRICOS**. Brazil – São Paulo, 2013. Tese. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

## **7. ANEXOS**

Figura 1-1: CIRCUITO DE FORÇA



	NOME	DATA	ASSINATURA	DESENHADO POR:	TÍTULO	DES. 17.09.21	PÁGINA 1 DE 2
DESENHOU	D. NHAMUNZE	17 . 09 . 2021			CIRCUITO DE FORÇA DO AGV	ESCOLA	UEM-FE-DEEL
VERIFICOU							



### ANEXO 3

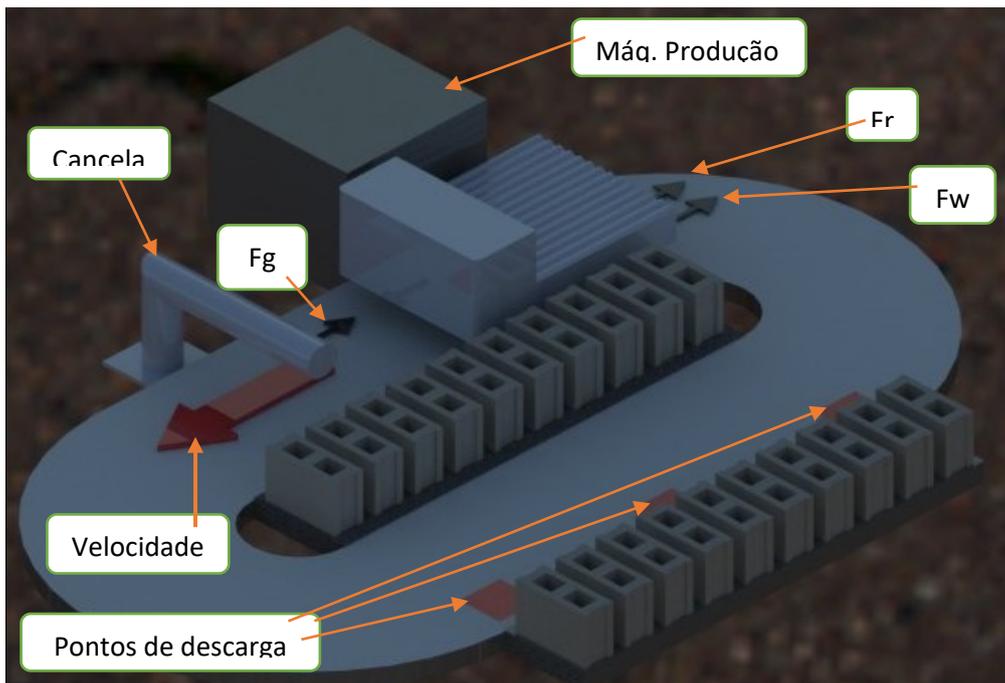


Figure A3-1: Layout parcial da planta com o veículo em vazio

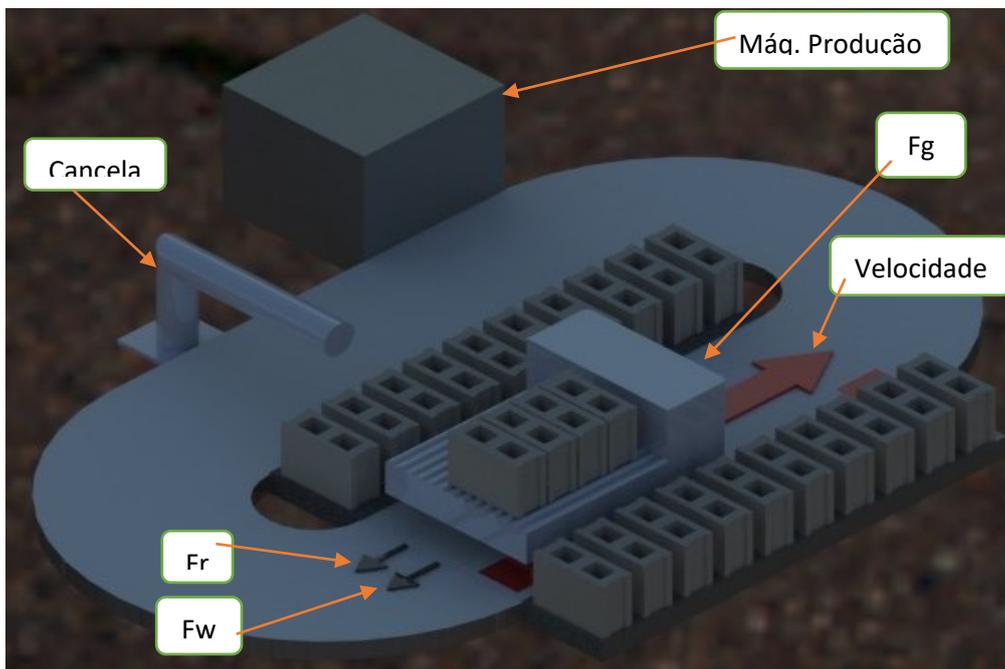


Figure A3-2: Layout parcial da planta com o veículo em carga

## ANEXO 4

Tabela A4-1: Valores típicos para o coeficiente de resistência ao rolamento

<b>Coeficientes de Resistência ao Rolamento</b>	
Condições	Coeficiente de Resistência ao Rolamento
Pneus de carro numa via de asfalto ou concreto	0,013
Pneus de carro numa via de cascalhos	0,020
Via de macadame	0,025
Via sem pavimento	0,050
Campo	0.10 – 0,35
Pneus de caminhão numa via de asfalto ou concreto	0,006 – 0,010
Roda sobre trilho	0,001 – 0,002

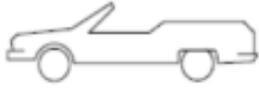
Fonte: (EHSANI; GAO; EMADI, 2010)

Tabela A4-2: Valores típicos de factor de massa

	<b>Fator de Massa</b>			
	Marcha alta	Segunda marcha	Primeira marcha	Marcha lenta
Veículo Pequeno	1.11	1.20	1.50	2.40
Veículo Grande	1.09	1.14	1.30	–
Caminhão	1.09	1.20	1.60	2.50

Fonte: (GILLESPIE, 1992)

Tabela A4-3: Coeficiente de resistência aerodinâmica em função da forma do veículo

Tipo de Veículo		Coeficiente de Resistência Aerodinâmica
	Conversível aberto	0,5...0,7
	Van	0,5...0,7
	Sedan	0,4...0,55
	Formato de cunha	0,3...0,4
	Formato de cunha com carenagem envolvente	0,2...0,25
	Hatchback	0,23
	Design simplificado otimizado	0,15...0,20
Caminhões		0,8...1,5
Onibus		0,6...0,7
Ônibus simplificado		0,3...0,4
Motocicletas		0,6...0,7

Fonte: (EHSANI; GAO; EMADI, 2010)

## ANEXO 5

Densidade de alguns materiais em  $\text{g/cm}^3$  a  $25^\circ\text{C}$

Tabela A5-1: Propriedades dos materiais ferrosos

Aço	7,8
Água	1,0
Chumbo	11,3
Bronze	8,73
Etanol	0,789
Ferro	0,789
Gelatina	1,27
Glicerina	1,26
Leite	1,03
Madeira	0,5
Mercúrio	13,5
Ouro	19,3
Platina	21,5
Quartzo	2,65

Tabela A5-2: Densidade e módulo de elasticidade dos materiais

<b>Material</b>	<b>Densidade <math>\rho</math> (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>	<b>Módulo de Young <math>E</math> (<math>10^9 \text{ N/m}^2</math>)</b>
Aço	7860	200
Alumínio	2710	70
Vidro	2190	65
Concreto	2310	30
Madeira	525	13
Osso	1900	9
Poliestireno	1050	3

## ANEXO 6

Tabela A6-1: Motores DC LEESON

### NEMA FRAME LOW VOLTAGE MOTORS



#### General Specifications:

Low voltage permanent magnet DC motors are suitable for installations having battery or solar powered operations, or generator supplied low voltage DC.

#### Mechanical Features:

Unique brush holder design provides easy access to brushes and integral, constant pressure brush/spring assembly for servicing. Larger oversized brushes assure longer brush life. Heavy-duty, stamped steel, bolt-on base (removable). NEMA C face mounting flange at no additional cost. High strength rolled steel frame. Rugged die cast aluminum endshields with steel bearing inserts. Permanently lubricated sealed ball bearings. May be converted to NEMA 48 frame base dimensions or NEMA 42/48 frame C face dimensions using modification kits noted on page 7.

#### Electrical Features:

High starting torques for heavy load applications. Linear speed/torque characteristics over entire speed range. Capable of dynamic braking for faster stops. Reversible rotation and simple two-lead connection. Convenient wiring access.

### LOW VOLTAGE 12 & 24V • TENV NEMA C FACE WITH REMOVABLE BASE<sup>Σ</sup>

kW	HP	Full Load RPM	NEMA Frame	Catalog Number	App. Wgt. (Kg.)	Arm. Volts DC	F.L. Amps DC	C Dim. (mm)
0,18	1/4	1800	S56C	108045 <sup>Ⓢ</sup>	9,5	12	21,0	265
		1800	S56C	108046 <sup>Ⓢ</sup>	10,0	12	27,0	291
0,25	1/3	1800	S56C	108050 <sup>Ⓢ</sup>	10,0	24	13,5	278
		1800	S56C	108047 <sup>Ⓢ</sup>	12,7	12	39,0	316
0,37	1/2	1800	S56C	108051 <sup>Ⓢ</sup>	12,7	24	20,0	303
		1800	S56C	108048 <sup>Ⓢ</sup> **	13,6	12	58,0	351
0,55	3/4	1800	S56C	108052 <sup>Ⓢ</sup> **	13,2	24	29,0	325
		1800	S56C	108322 <sup>Ⓢ</sup> **	15,9	12	80,0	338
0,75	1	1800	S56C	108053 <sup>Ⓢ</sup> **	15,0	24	39,0	351
		1800	S56C					

For dimensions, see drawing **L** on page 34.



Figura A7-1: Catálogo de baterías Panasonic

Tabela A7-1: Especificações técnicas das baterias

Model number	Technology	Nominal voltage (V)	Typical*1 capacity (mAh)	Width (mm)	Thickness (mm)	Total height (mm)	Weight (g)
NCA-463436A	NNP*2, HRL*3	3.6	720	34.30	4.60	35.50	12.4
NCA-523436	NNP*2, HRL*3	3.6	840	34.30	5.15	35.50	14.1
NCA-752836A	NNP*2, HRL*3	3.6	1,010	27.90	7.80	35.70	16.7
NCA-623535	NNP*2, HRL*3	3.6	1,100	35.20	6.30	35.10	17.6
NCA-593142SA	NNP*2, HRL*3	3.6	1,110	30.95	5.90	42.25	17.7
NCA-673440	NNP*2, HRL*3	3.6	1,265	33.80	6.75	40.35	20.3
NCA-593446	NNP*2, HRL*3	3.6	1,300	33.80	5.90	46.00	20.6
NCA-843436	NNP*2, HRL*3	3.6	1,300	33.90	8.70	35.70	23.0
NCA-882936SA	NNP*2, HRL*3	3.6	1,310	28.70	8.80	36.30	20.1
NCA-793540	NNP*2, HRL*3	3.6	1,570	35.10	7.95	40.50	24.7
NCA-103450	NNP*2, HRL*3	3.6	2,350	33.80	10.50	48.50	38.3
NCA-653864SA	NNP*2, HRL*3	3.6	2,400	38.10	6.50	64.60	37.0
UF-463443GU	LCO system*4	3.7	850	33.85	4.55	42.60	16.0
UF-463450F	LCO system*4	3.7	960	33.85	4.45	49.60	18.5
UF-553443ZU	LCO system*4	3.7	1,040	33.80	5.55	42.80	18.7
UF-703141FU	LCO system*4	3.7	1,090	30.50	7.05	40.70	20.9
UF-553450Z	LCO system*4	3.7	1,200	33.85	5.55	49.80	22.3
UF-653450S	LCO system*4	3.7	1,300	33.85	6.35	49.80	25.1
UF-103450P	LCO system*4	3.7	2,000	33.80	10.50	48.80	38.5
CGA-463443XA	High voltage charge system	3.8	910	33.80	4.60	42.45	15.5
CGA-463450XA	High voltage charge system	3.8	1,030	33.80	4.55	49.45	17.6

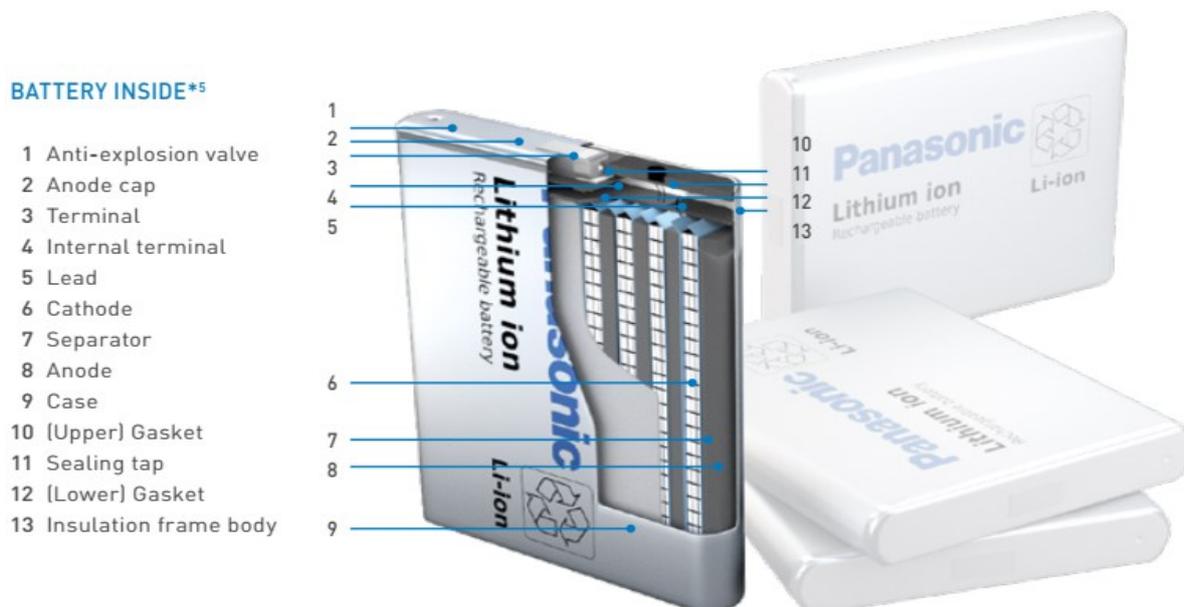
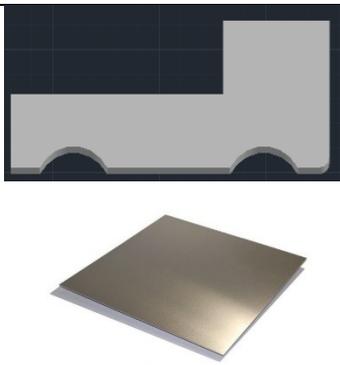
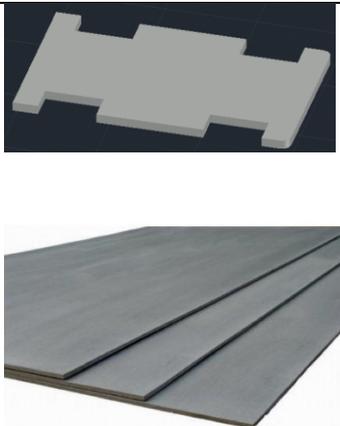
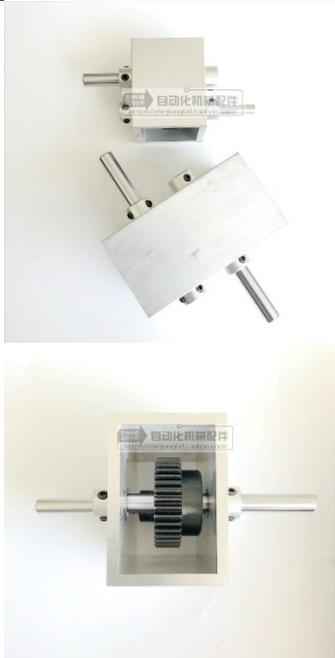


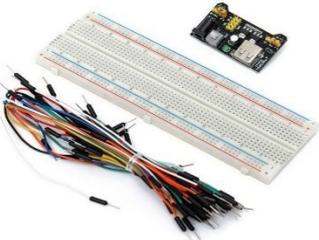
Figura A7-2: Aspecto físico das baterias

## ANEXO 8

### Características dos componentes do veículo

Aspecto físico da peça	Designação	Função	Especificações técnicas	Forma de montagem	Custo (MZN)
	Chapa da carcaça	Compor o invólucro do veículo que protege todos os componentes internos deste.	Material: Ligas de alumínio; Espessura : 3mm; Dimensões: 1500x600 mm	Por rebite	8075
	Chapa da base da carcaça	Base do invólucro que suporta todos os componentes do veículo.	Material: Ferro fundido; Espessura : 5mm; Dimensões: 1500x900 mm.	Por parafusos de tamanho 10"	14500
	Rebites	Estabelecer a união entre duas peças metálicas (chapas da carcaça)	Material: Aço; Dimensões: 3,2x08mm ;	Rebitagem a frio.	100
	Roda	Elemento de rolamento que roda e transmite os esforços a superfície	Tipo: Roda maciça (Código: R10200R) Material: Borracha, com rolamento de roletes 7/8 ou 3/4	Acoplamento directo com o veio do redutor de velocidade	430

			Dimensões: 10"x2" Jante: De aço Diâmetro do furo de acoplamento: 50mm		
	Redutor de velocidade	Reduzir a velocidade disponível nos terminais do motor para a velocidade necessária nas rodas do veículo	Tipo: Por engrenagens; Capacidade de potência a transmitir: 60W-7500W; Modelo: TJ-BHADE; Relação de transmissão: 18. Rendimento da transmissão: 0,8.	Acoplamento directo	2137,0284
	Veio/ eixo das rodas	Interligar as rodas traseiras do veículo	Material: Aço; Diâmetro: 50mm; Comprimento: 1m.	Acoplamento directo	5000,00
	Parafusos	Unir as partes da carcaça do veículo	Material: Ligas de alumínio; Dimensões: 10"	Por aperto	

	<p>Motor eléctrico</p>	<p>Transformar a energia eléctrica em energia mecânica de rotação para tracionar o veículo</p>	<p>Potência nominal: 0,5kW; Rotação: 1800rpm; Conjugado: 2Nm; Tensão de armadura: 12V; Tipo: motor de íman permanente; IP54; Classe de isolamento: H; Ventilação forçada.</p>	<p>Montagem por aperto (parafusos) na base da carcaça do veículo</p>	<p>15500,00</p>
	<p>Redutor de tensão cc-cc</p>	<p>Reduzir a tensão da fonte de 12V para os 5V para alimentação do Arduino</p>	<p>Tensão de entrada: 6 a 12V DC; Tensão de saída: 5V</p>	<p>Colado a silicone numa superfície de madeira a ser parafusada na superfície da carcaça.</p>	<p>90</p>
	<p>Kit (protoboards e jumpers)</p>	<p>Estabelecer uma interface entre a placa do Arduino e os componentes do circuito de força e de controlo.</p>	<p>Dimensões da placa: 100x200mm; Comprimento dos Jumpers: 200mm; Em diversas cores. Terminal: macho.</p>	<p>Por encaixe na placa protoboard e/ou soldadura.</p>	<p>686</p>

	<p>LEDs (Diodo emissor de luz)</p>	<p>Sinalizar os diferentes estados do sistema</p>	<p>LEDs de 5mm 3mm; Corrente máxima: mA</p>	<p>Colados em silicone na carcaça do veículo e a conexão eléctrica feita por soldadura.</p>	<p>15</p>
	<p>Díodo retificador</p>	<p>Proteção do Arduino contra correntes indutivas inversas com origem no relé de interface.</p>	<p>Material: silício; Tensão de bloqueio (inversa): 5V; Tensão directa: 0,7; Dissipação de potência: 738mW.</p>	<p>Por encaixe através dos seus pinos na placa protoboard.</p>	<p>25</p>
	<p>Arduino UNO R3</p>	<p>Controlar o veículo processando os sinais enviados pelos sensores e enviando ordens as suas saídas</p>	<p>Microcontrolador ATmega328P; Tensão de operação; 14 pinos(6 com saída em PWM); Corrente de saída por pino; Memória flash com 32kB; SRAM 2KB; EEPROM 1KB; Velocidade do relógio: 16MHz.</p>	<p>Fixado devidamente por silicone sobre uma superfície de madeira a ser fixada na carcaça por parafusos de ligas de alumínio</p>	<p>2100, 934</p>

	<p>Diodo retificador de Potência</p>	<p>Compor o circuito de força (chopper)</p>	<p>Tensão inversa: 1200V; Tensão directa: 0,7V; Corrente máxima: 70A.</p>	<p>Por aperto através de uma porca própria do diodo (na parte inferior) e por soldadura (na parte superior).</p>	<p>1569, 104</p>
	<p>Resistor</p>	<p>Limitação das correntes entregues pelos sinais de entrada a placa do Arduino e deste aos LEDs.</p>	<p>Resistência: 220Ω</p>	<p>Por encaixe através dos seus pinos na placa protoboard e/ou por soldadura.</p>	<p>10</p>
	<p>Contactador</p>	<p>Estabelece e interrompe a corrente no circuito de força, interligando a fonte ao circuito <i>chopper</i></p>	<p>Tensão da bobina: 12VCC; Potência dissipada: 1/4W; Corrente de emprego 80A, DC2/DC3; Dimensões: 66x116,5x145mm; IP21</p>	<p>Por engate através das suas garras.</p>	<p>10500</p>
	<p>Fusível</p>	<p>Proteção dos motores e de todos os componentes do circuito de força contra</p>	<p>Corrente nominal: 80A, NH; Tensão máxima de operação: 500V; poder de corte:</p>	<p>Por encaixe através das suas facas no respectivo porta-fusível que será fixado por</p>	<p>152,01</p>

		correntes de curto-circuito.	100KA; Classe de utilização gL/gG; Acção retardada; Dimensões: 21x40x78 mm	parafusos numa base de madeira.	
 <p>CLASSE 10 63 - 80A</p>	Relé térmico	Proteção do motor contra correntes de sobrecarga	Corrente de ajuste: 63 ... 80A; Compensação de temperatura -20 ... 60°C; grau de proteção IP20; Peso líquido 0,535kg.	Montagem directa sobre o contactor através dos pinos superiores.	870,00
	Relé de interface	Interfaceamento entre o circuito de controlo e a placa do Arduino.	Tensão da bobina: 5V; Dimensões: 90x55x22 mm; Fabricado com material anti-chama; LED verde de indicação de accionamento.	Colado em silicone numa base de madeira.	213,56
	Sensor Ultrassónico	Detectar o nível de reflectância da superfície (chão de fabrica)	Tensão de alimentação 5V; Corrente de operação 15A; Frequência	Rebitado na superfície da carcaça (superfície e inferior)	207,87

			a de operação 40Hz; alcance máximo 400cm; ângulo de medição 15°; dimensõe s 45*20*15 mm		
	Sensor de distancia	Detectar a presença de um obstáculo para o veículo e enviar um sinal ao microcontr olador	Tensão de alimentaç ão: 5V; Alta precisão; Alcance máximo: 400cm	Rebitado na superfície da chapa frontal do veículo e ligado a outros compone ntes de controle por soldadura	1526, 327
	MOSFET de potência	Comutado através da sua porta para controlar a tensão na saída do chopper ao qual este estará inserido para fins de controle de tensão entregue ao motor e consequen temente a sua velocidad e.	Tensão entre dreno – fonte: 30V; Tensão porta fonte: +/- 20V; Corrente continua de dreno 150A; corrente de dreno pulsada 600A; Máxima dissipação de potencia 72W; resistênci a dreno-	Fixado numa base de madeira através de parafusos e ligado a outros compone ntes do circuito de forca por soldadura .	140,5

			fonte 3,8mΩ		
	Cabo eléctrico de força	Conduzir a corrente do circuito do força (interligando os motores ao chopper e este a fonte)	Material: cobre; Cabo multifilar, flexível de 2,5mm <sup>2</sup> ; com isolamento em PVC. Tensão: 450/750V	Canalizado em calhas fechadas a serem rebitadas na carcaça do veículo	1000
	Bateria	Suprir energia a todos os componentes do sistema que necessitam desta (motores, sensores, microcontrolador)	Tensão de célula: 3,8V; Capacidade de corrente: 1030mAh; Largura: 33,8mm; espessura: 4,55mm; Altura: 49,45mm; Peso: 17,6g	Empilhadas em forma de matriz, abraçadas por cintas plásticas e coladas a silicone numa base de madeira a ser parafusada na carcaça do veículo	

## ANEXO 9

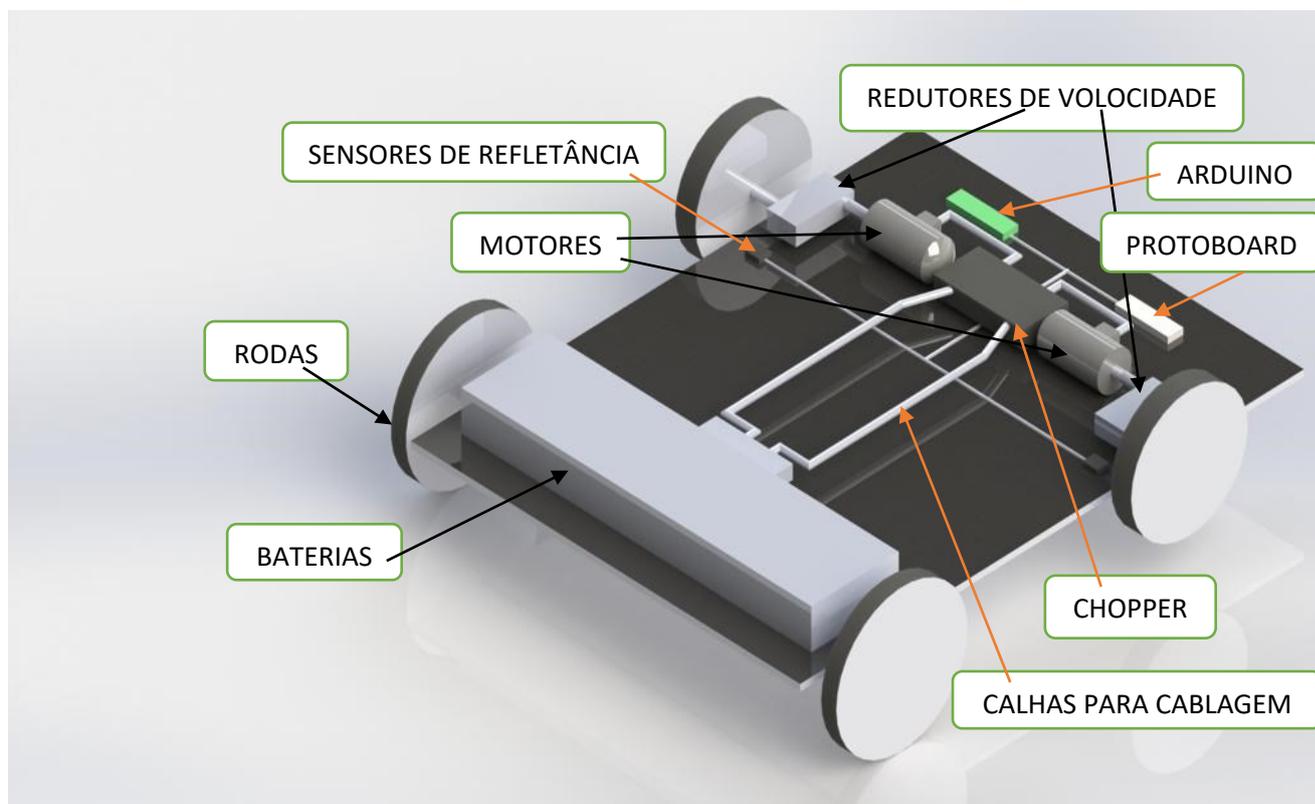


Figura 9-1: Arranjo físico dos principais componentes do AGV em 3D