



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**HIGOR PONTES DINIZ DE ALMEIDA SERGIO**

**PROJETO DE HARDWARE DE ROBÔ MÓVEL DE PEQUENO PORTE PARA  
EXPANSÃO DA PLACA KL25Z**

**FORTALEZA**

**2018**

HIGOR PONTES DINIZ DE ALMEIDA SERGIO

PROJETO DE HARDWARE DE ROBÔ MÓVEL DE PEQUENO PORTE PARA  
EXPANSÃO DA PLACA KL25Z

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Bismark Claire Torrico.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S491p Sergio, Higor Pontes Diniz de Almeida.  
Projeto de hardware de robô móvel de pequeno porte : para expansão da placa KL25Z / Higor Pontes Diniz de Almeida Sergio. – 2018.  
75 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Bismark Claure Torrico.  
Coorientação: Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira .
1. KL25Z. 2. Robótica. 3. Micromouse. 4. Internet of Things. 5. Wireless. I. Título.
- CDD 621.3
-

HIGOR PONTES DINIZ DE ALMEIDA SERGIO

PROJETO DE HARDWARE DE ROBÔ MÓVEL DE PEQUENO PORTE PARA  
EXPANSÃO DA PLACA KL25Z

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de graduação em Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial à obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 06/12/2018.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Bismark Claire Torrico (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira (Co-orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> MSc. Jéssica Santos Guimarães  
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

---

MSc. Marcus Davi do Nascimento Forte  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, professores, orientadores,  
participantes da minha formação profissional e  
amigos.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que são o começo da minha história.

À minha mãe em especial, por sua garra e coragem ao longo de nossas vidas.

À minha namorada Dyanne, pelo seu apoio e amor incondicionais.

A todos os meus familiares que de alguma forma contribuíram para ao longo dessa jornada.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), que me acolheu por todos estes anos de luta.

Aos Professores Bismark e Fabrício, pela excelente orientação e confiança durante a realização desse trabalho.

Aos colegas de profissão que por inúmeras vezes compartilharam conhecimento, e dividiram a carga.

Aos participantes da banca examinadora pelo seu prestígio de aceitar participar desse trabalho.

A todos os professores que compartilharam conhecimento dentro e fora da sala de aula, forneceram materiais diversos, ofereceram oportunidades de estudo e sempre demonstraram carinho e confiança em mim.

Aos técnicos dos laboratórios do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE), que me deram inúmeras vezes a oportunidade de adquirir conhecimentos práticos.

A todos os meus amigos pelo incentivo, e simplesmente pela amizade.

“É bom porque é ruim, se fosse pior seria melhor” (De um amigo imensurável)

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o projeto de hardware completo de um robô de pequeno porte, que encontre utilidade como ferramenta didática de pesquisa e desenvolvimento voltado à robótica. Seguindo as principais tendências tecnológicas contemporâneas a esse trabalho, são tomados como principais requisitos críticos: a autonomia energética; a capacidade de comunicação wireless; a presença de sensores e atuadores que possam operar em conjunto em malha fechada e possibilitar a elaboração e realização de trajetos específicos; a capacidade de se comunicar com interfaces remotas como computadores e smartphones; e a aptidão para as principais competições de robótica, como micromouse e robô seguidor de linha. O sistema conta com a placa de desenvolvimento KL25Z, desenvolvida pela freescale™ semiconductor, como principal estrutura de processamento e comando.

O projeto desenvolvido conta com total representação 3D, e pode servir de base para estudos em diversas áreas da robótica, eletrônica de potência, computação e comunicação. O possível público para este trabalho pode variar, do pesquisador iniciante, com conhecimentos básicos de robótica e programação, buscando sua introdução acerca dos níveis básicos de tais áreas; ao pesquisador ou desenvolvedor experiente, que deseja dispor de ferramentas que o auxiliem na exploração de técnicas de áreas de controle discreto de sistemas dinâmicos; fusão sensorial; inteligência computacional; algoritmos para elaboração de trajetos; sistemas operacionais em tempo real; desenvolvimento de aplicativos, interfaces e supervisórios para smartphones e computadores; e muitos outros.

Espera-se que o robô proposto sirva de ferramenta abrangente, versátil e didática, e que seus usuários possam estar confortáveis para desenvolver e aprimorar seus conhecimentos, bem como a ferramenta em si, ao longo de seus estudos.

**Palavras-chave:** KL25Z. Robótica. Robô. Hardware. Firmware. Sensor. Motor. Interface. Wi-fi. Bluetooth. Micromouse. USB. Display de ar. Wireless. Temperatura. LDR. Ponte H. Acelerômetro. Giroscópio. Magnetômetro. Encoder. Bateria. RGB. SMD. IoT. Internet of Things. Smart Objects. RTOS.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1– Placa de desenvolvimento kl25z. ....	21
Figura 2.2– Seção transversal de um motor típico de ímã permanente. ....	24
Figura 2.3– Motor de dois eixos com caixa de redução integrada. ....	24
Figura 2.4– Modelagem 3D de um dos lados do sistema de propulsão. ....	25
Figura 2.5– Exemplo simplificado de uma ponte H. ....	26
Figura 2.6– Diagrama de blocos do CI LB1836. ....	27
Figura 2.7– Circuito completo de propulsão. ....	28
Figura 2.8– Placa eletrônica do <i>encoder</i> óptico. ....	30
Figura 2.9– Placa eletrônica do <i>encoder</i> magnético. ....	31
Figura 2.10– Princípio de funcionamento do par IR. ....	32
Figura 2.11– Modelagem 3D do par IR detector de obstáculos. ....	32
Figura 2.12– Distribuição dos 6 sensores IR (realçados). ....	32
Figura 2.13– Detalhe da instalação dos sensores IR. ....	33
Figura 2.14– Circuito dos sensores IR detectores de obstáculos. ....	33
Figura 2.15– Modelagem 3D do sensor IR QRE1113. ....	34
Figura 2.16– distribuição dos 6 sensores IR QRE1113 (realçados). ....	35
Figura 2.17– Circuito dos sensores IR QRE1113. ....	35
Figura 2.18– Módulo MPU-9250. ....	36
Figura 2.19– Módulo <i>bluetooth</i> HC-05. ....	37
Figura 2.20– Módulo <i>Wi-Fi</i> ESP-8266. ....	38
Figura 2.21– Botões de uso geral presentes no robô (realçados). ....	39
Figura 2.22– LEDs uso geral presentes no robô (realçados). ....	39
Figura 2.23– LEDs RGB presentes no robô (realçados). ....	40
Figura 2.24– Circuito dos LED's RGB. ....	41
Figura 2.25– Faróis presentes no robô (realçados). ....	41
Figura 2.26– Circuito dos faróis. ....	42
Figura 2.27– Display LCD presentes no robô (realçado). ....	43
Figura 2.28– Circuito do display LCD. ....	43
Figura 2.29– <i>Buzzer</i> presentes no robô (realçado). ....	44
Figura 2.30– Circuito de acionamento do <i>buzzer</i> . ....	44
Figura 2.31– Sensores LDR (realçados). ....	45
Figura 2.32– Circuito dos sensores de luminosidade. ....	45

Figura 2.33– Sensor de temperatura LM35 (realçado).....	46
Figura 2.34– Circuito do sensor de temperatura LM35. ....	46
Figura 2.35– Conversor <i>Buck-Boost</i> .....	49
Figura 2.36– Circuito do conversor <i>Buck-Boost</i> . ....	50
Figura 2.37– disposição de 4 baterias AAA. ....	51
Figura 2.38– disposição teórica da bateria Li-ion 3,7V. ....	51
Figura 2.39– Espaço livre para fixação bateria genérica.....	51
Figura 2.40– Chave para seleção de baterias.....	52
Figura 2.41– Módulo TP4056. ....	52
Figura 2.42– Conectores USB para carga da bateria. ....	53
Figura 2.43– Receptor de carregador Wireless. ....	53
Figura 2.44– Circuito de energização.....	54
Figura 4.1– Espaço inicial de desenvolvimento. ....	62
Figura 4.2– Contorno da placa. ....	63
Figura 4.3– Espaçamento dos sensores infravermelhos para detecção de linha (vista inferior em 3D).....	64
Figura 4.4– Espaçamento dos sensores infravermelhos para detecção de obstáculos.....	65
Figura 4.5– Espaçamento dos sensores infravermelhos para detecção de obstáculos (vista inferior em 3D). ....	65
Figura 4.6– Disposição final dos componentes, vista superior. ....	66
Figura 4.7– Disposição final dos componentes, vista inferior. ....	67
Figura 4.8– PCB finalizado com malha de terra, <i>Top Layer</i> (camada superior).....	69
Figura 4.9– PCB finalizado com malha de terra, <i>Bottom Layer</i> (camada inferior).....	69
Figura 6.1– Visão geral do projeto finalizado (vista superior).....	72
Figura 6.2– Visão geral do projeto finalizado (vista inferior).....	73

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1– Tabela Verdade do CI LB1836M. ....	27
Tabela 2.2– Estimativa de corrente por bloco funcional. ....	47
Tabela 2.3– Estimativa de corrente por grupo intertravado. ....	49
Tabela 4.1–Principais elementos do robô.....	67
Tabela A.1–Lista de componentes.....	76

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	<i>Analog-to-digital converter</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPv4	<i>Internet Protocol version 4</i>
IPv6	<i>Internet Protocol version 6</i>
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CC	Corrente Contínua
DC	<i>Direct Current</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
UFC	Universidade Federal do Ceará
SMD	<i>Surface Mount Device</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
RTOS	<i>Real-time Operating System</i>
UART	<i>Universal asynchronous receiver-transmitter</i>
RTC	<i>Real-time clock</i>
IC	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
MCU	<i>Microcontroller Unit</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
OTG	<i>USB On-The-Go</i>
SRAM	<i>Static random-access memory</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
CI	Circuito Integrado
TBJ	Transistor Bipolar de Junção
IR	<i>Infrared</i>
LDR	<i>Light-Dependent Resistor</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LED	<i>Light-emitting diode</i>
RGB	<i>Red Green Blue</i>
DMA	<i>Direct memory access</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	Estrutura do Trabalho .....	18
<b>2</b>	<b>DEFINIÇÃO DAS ESTRUTURAS E DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>19</b>
2.1	Requisitos críticos .....	19
2.2	Requisitos não críticos.....	20
2.3	Processamento.....	20
2.4	Propulsão.....	23
2.4.1	<i>Motor de corrente contínua de imã permanente</i> .....	23
2.4.2	<i>Driver de acionamento dos motores</i> .....	26
2.5	Navegação.....	29
2.5.1	<i>Encoders</i> .....	29
2.5.1.1	<i>Encoder óptico</i> .....	30
2.5.1.2	<i>Encoder magnético</i> .....	30
2.5.2	<i>Pares infravermelhos para detecção de obstáculos</i> .....	31
2.5.3	<i>Pares infravermelhos para detecção de linha</i> .....	34
2.5.4	<i>Magnetômetro, Giroscópio e acelerômetro</i> .....	36
2.6	Comunicação sem fio.....	37
2.6.1	<i>Módulo Bluetooth HC-05</i> .....	37
2.6.2	<i>Módulo Wi-fi ESP 8266</i> .....	38
2.7	Interface.....	38
2.7.1	<i>Botões</i> .....	39
2.7.2	<i>LEDs</i> .....	39
2.7.3	<i>Luz de chassi</i> .....	40
2.7.4	<i>Faróis</i> .....	41
2.7.5	<i>Display LCD</i> .....	42
2.7.6	<i>Sinal sonoro (Buzzer)</i> .....	43
2.8	Outros sensores .....	44
2.8.1	<i>Sensor de nível de luminosidade</i> .....	44
2.8.2	<i>Sensor de temperatura</i> .....	45
2.9	Energização .....	46
2.9.1	<i>Intertravamento lógico</i> .....	47
2.9.2	<i>Regulação de tensão</i> .....	49
2.9.3	<i>Baterias</i> .....	50

2.9.4	<i>Carregadores</i> .....	52
<b>3</b>	<b>CRITÉRIOS E CÁLCULOS</b> .....	<b>55</b>
3.1	Transistores.....	55
3.2	Capacitores.....	55
3.3	Resistores.....	56
3.3.1	<i>Resistores série com LEDs</i> .....	56
3.3.2	<i>Resistores de base de transistores</i> .....	57
3.3.3	<i>Resistores do divisor de tensão da bateria</i> .....	58
3.3.4	<i>Potenciômetro do circuito do sensor de luminosidade</i> .....	58
3.3.5	<i>Resistores do circuito dos botões</i> .....	58
3.3.6	<i>Resistores dos receptores IR</i> .....	59
3.3.7	<i>Resistores do circuito grampeador do sensor de temperatura</i> .....	59
<b>4</b>	<b>DESIGN DO PCB</b> .....	<b>61</b>
4.1	Modelagem 3D .....	61
4.2	Roteamento .....	68
<b>5</b>	<b>MARGEM PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS</b> .....	<b>70</b>
5.1	Desenvolvimentos futuros com base no resultado desse projeto.....	70
5.2	Possíveis aprimoramentos e expansões.....	71
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>72</b>
	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>74</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>75</b>
	<b>ANEXO A</b> .....	<b>76</b>
	<b>ANEXO B</b> .....	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A eletrônica e a robótica são dois campos de estudo crescentes da engenharia elétrica. Impactadas pelos avanços científicos das últimas décadas, ainda oferecem inúmeros desafios científicos a pesquisadores e desenvolvedores, obrigando-os a buscar compreensão das novas ferramentas e técnicas disponíveis.

Dentre inúmeros avanços científicos relevantes, destacam-se o aumento da capacidade de processamento de sistemas microcontrolados; a aprimoração e criação de ferramentas para desenvolvimento de *softwares* e *firmwares* para sistemas embarcados, como as que dão suporte a *Real Time Operational Systems* (RTOS); o aumento da abrangência e acessibilidade dos meios de comunicação; a expansão dos meios de processamento de energia, principalmente em baixa potência; a emergência do conceito globalizado de objetos inteligentes e *Internet of Things* (IoT); e a difusão de meios de comunicação com interfaces robustas e programáveis, como os *smartphones*.

Como consequência, surgiram, nos últimos anos, inúmeras frentes de pesquisa em todo o mundo em torno de temas como telemetria, drones de baixa potência, automação com acesso remoto via *smartphone*, veículos elétricos compartilhados, rastreamento em tempo real, algoritmos de reconhecimento de padrões, *softwares* de aprendizado artificial, pulseiras de monitoramento de saúde corporal, competições de robótica e muitos outros.

O conceito emergente de objetos inteligentes é algo que merece atenção especial. Tais objetos têm se tornado comuns no cotidiano de muitos.

Em linhas gerais, um objeto é considerado inteligente quanto é equipado com um sensor ou atuador, um microprocessador, um dispositivo de comunicação e uma fonte de energia. O sensor ou atuador oferece ao objeto inteligente a habilidade de interagir com o mundo físico. O microprocessador permite ao objeto digitalizar os dados capturados pelos sensores. O dispositivo de comunicação permite ao objeto informar suas leituras ao mundo externo, bem como receber informações e comandos de outros objetos inteligentes. Por fim, a fonte de energia provê a eletricidade necessária para que o objeto inteligente funcione (VASSEUR; DUNKELS, 2010).

A maioria das linhas de pesquisa e desenvolvimento (P&D) a cerca de objetos inteligentes enraíza a *internet* como protocolo de comunicação, por sua abrangência e aceitação mundial. Nesse contexto, surge o conceito de *Internet of Things*. Possibilitar que instrumentos

do cotidiano acessem a internet proporciona um nível superior de integração entre homem e máquina. Fica acessível a leitura, a passagem de parâmetros e de comandos para objeto inteligente de qualquer lugar do mundo onde a internet também esteja disponível.

Na esfera da automação residencial e predial, sensores de presença, lâmpadas e tomadas com acesso à internet podem viabilizar conforto e controle aos moradores. Disjuntores, Interruptores Diferenciais Residuais (IDR's), Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS's) e demais equipamentos de proteção podem informar a natureza da falha; ajudar uma central, aplicativo, ou o próprio usuário diagnosticá-la; e realizar sua religação remotamente. Câmeras de segurança podem ser monitoradas por um só aplicativo ou interface.

Na esfera da segurança pública e mobilidade urbana, câmeras com *Internet Protocol* (IP) podem ser acessadas por diferentes entidades. Um funcionário da central da polícia civil pode verificar as imagens em tempo real de um cruzamento para prevenir ou investigar um crime, ao mesmo tempo que outro funcionário do departamento de trânsito monitora o mesmo cruzamento para verificar infrações, utilizando a mesma câmera. Um terceiro usuário pode ser uma central inteligente de processamento digital de imagens (PDI), que estima o congestionamento local e controla automaticamente os semáforos do cruzamento (que também serão objetos inteligentes). Esse tipo de integração pode dispensar a existência de inúmeras estruturas redundantes, simplesmente por compartilhar informações de interesse comum com diferentes entidades.

Na esfera da robótica, objeto de estudo do presente trabalho, permitir ao objeto o acesso à internet também possui inúmeras vantagens. Monitorar e comandar remotamente um robô sempre foi algo de interesse, e levou desenvolvedores por muito tempo a instalar emissores e receptores de radiofrequência (RF) em seus protótipos, mesmo com alcance e velocidade de comunicação limitados. A internet permite uma troca ampla e ilimitada de informações, em tempo real. Smartphones podem ser utilizados como interface, permitindo leitura de status de bateria, sensores gerais, estimativa de autonomia, bem como passagem de comandos e parâmetros de operação. Computadores estacionários em qualquer lugar do mundo podem ser utilizados com a mesma finalidade. Câmeras IP podem ser instaladas no robô, oferecendo imagem em tempo real do ambiente ao seu redor.

Outra possibilidade atrativa é a de estabelecer comunicação entre robôs que estejam emparelhados em uma mesma tarefa. Um drone sobrevoando uma determinada região pode, a partir de um processamento digital de imagens, elaborar e informar o melhor trajeto para uma sonda de exploração terrestre. Uma via aérea de drones pode existir sem colisões

constantes, se os dispositivos trocarem informações entre si sobre posições, rotas e intensões de saída e entrada na via. O mesmo conceito pode ser estendido a uma possível automação de tráfego de veículos terrestres tripulados, permitindo que seus passageiros cuidem de outras tarefas enquanto o piloto automático guia o veículo.

A possibilidade da produção desenfreada de objetos inteligentes pode levantar questionamentos acerca da capacidade da rede de internet suportar uma quantidade significativa de conexões. Quando lâmpadas, tomadas, sensores de presença, monitores de temperatura, disjuntores, relógios, câmeras e uma infinidade de outros objetos tornam-se candidatos ao acesso à internet, uma inspeção simples deixa claro que o número de possíveis conexões à rede pode crescer significativamente.

Atualmente o protocolo de comunicação de internet mais utilizado é o *Internet Protocol version 4* (IPv4), que possui 32 *bits* de endereçamento, e, portanto, teóricos 4.294.967.296 de endereços possíveis. Tais números atenderiam com folga os candidatos à internet se estes fossem apenas pessoas. No entanto, objetos inteligentes no geral são pequenos e populosos. Previamente preocupados com um possível esgotamento do IPv4, a *Internet Engineering Task Force* (IETF) especificou o *Internet Protocol version 6* (IPv6), em 1998, o qual prevê um barramento de endereçamento de 128 *bits*, implicando na possibilidade de mais de  $3,4 \times 10^{38}$  endereços teóricos. Em ambas as versões existe uma faixa de endereços reservados, mas fica visível a diferença de abrangência entre as versões.

O IPv6 não está vigente por não ter se tornado necessário a ponto de justificar os custos de migração. Sua presença como candidato, no entanto, credibiliza o desenvolvimento de objetos inteligentes com acesso à internet. Fica claro, que a internet das coisas não é algo não apenas desejável como também aplicável a curto e longo prazo.

Também merece atenção a evolução das ferramentas de programação para sistemas robóticos em geral. A possibilidade de incorporar à robôs um sistema operacional que gerencie suas tarefas sem abrir mão de seus requisitos de desempenho facilita a programação e divisão entre tarefas críticas, não críticas, e rotinas de segurança. Atualmente, Sistemas Operacionais de Tempo Real (RTOS) são suportados pela maioria dos principais compiladores, e permitem que microcontroladores processem de forma concorrente diversas tarefas, conforme prioridade e *deadline*. Rotinas de segurança específicas para situações de risco podem ser protocoladas e garantidas, conforme o tipo de falha. Um carro elétrico de navegação automática pode ser forçado a parar em caso de falha em um dos seus sensores (*fail safe*). Já um drone pode (e deve) adotar um protocolo diferente em caso de falha em um sensor, visto que sua parada

abrupta resultaria em sua queda e possíveis acidentes. Nesse caso, o mesmo deveria ser forçado a um estado de mínima operação, se mantendo no ar em estado de equilíbrio até que seu controle manual seja estabelecido (*fail operational*).

O uso de sistemas operacionais torna não apenas intuitivo a programação de diferentes rotinas de operação, como também as torna mais confiáveis, a partir da sua divisão conforme suas prioridades.

A evolução da eletrônica de potência é outro fator de destaque. A possibilidade de integrar diferentes fontes de energia em um sistema credibiliza a intensão de tornar sistemas robóticos em geral totalmente autônomos. Robôs que possam se recarregar em uma cobertura de um prédio através de suas células fotovoltaicas, dispensam a intervenção humana para tal. Uma rede de entrega de encomendas com o uso de drones autônomos não teria a mesma flexibilidade e eficiência se todos os seus dispositivos precisassem se locomover a uma central e receber carga elétrica com auxílio de um operador.

Buscar trabalhar e desenvolver em torno de todos esses (e outros) novos desafios científicos tem se tornado uma necessidade crescente, e diversos setores da indústria global de eletrônicos. Muitos fabricantes renomados de semicondutores e componentes eletrônicos em geral, como a *freescale™ semiconductor*, passaram a desenvolver plataformas de desenvolvimento robustas, didáticas e versáteis, para atender o público científico que busca dominar as novas ferramentas do mercado. Observou-se, por exemplo, a popularização da ferramenta didática *Arduino*, seguido por inúmeras placas de expansão para o mesmo, permitindo, a novos e antigos desenvolvedores, o estudo e desenvolvimento de pequenos projetos para atender necessidades cotidianas, ou simplesmente colocar suas capacidades à prova em competições de robótica.

Fica claro, no cenário atual, que ferramentas de desenvolvimento didáticas e abrangentes são desejáveis, para aprimorar o conhecimento de pesquisadores, e facilitar o caminho de desenvolvedores na obtenção de resultados em campos mais específicos de aplicação.

## 1.1 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto por 6 capítulos. Neste primeiro foram apresentadas as bases e motivações para o mesmo.

No segundo capítulo são estabelecidos os requisitos para desenvolvimento do projeto, dividindo os mesmo entre críticos e não-críticos. Tais requisitos são tomados como base para todo o desenvolvimento do projeto. Também é apresentada de forma técnica a escolha, apresentação e explicação todos os grupos funcionais do robô proposto, sempre que possível esclarecendo os critérios que levaram as suas escolhas construções individuais.

No capítulo 3, são apresentadas os critérios de escolha e as bases de cálculo (quando aplicáveis) para todos os componentes dimensionáveis do projeto. Como há muitos componentes repetidos, optou-se por mostrar seus cálculos de forma genérica e abrangente, para que seja possível compreender os critérios para obtenção dos valores apresentados, ou valores a apresentar, bem como para permitir ajustes em diferentes ambientes.

É no capítulo 4 que são apresentadas as etapas e procedimentos de *design* do robô, pontuando os seus critérios e ferramentas utilizadas.

O capítulo 5 apresenta as propostas e previsões para desenvolvimentos futuros com base na plataforma produzida.

Por fim, o capítulo 6 dispõe o resultado final e as últimas considerações.

O trabalho é finalizado com conclusão, referências e anexos.

## 2 DEFINIÇÃO DAS ESTRUTURAS E DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento de projetos de eletrônicos em geral, especialmente de *hardware*, é necessário determinar seus requisitos, os quais servirão de base para definição e dimensionamento de estruturas e componentes.

Tais requisitos podem ser classificados quanto seu grau de importância, e assim foram, para facilitar as tomadas de decisão ao longo do projeto.

### 2.1 Requisitos críticos

Os requisitos aqui descritos foram tomados como críticos, por serem considerados essenciais para um bom projeto, ou para garantir que o mesmo atenda suas motivações e campos esperados de aplicação.

- Autonomia. Garantir que o robô possa operar com baterias instaladas em sua estrutura, bem como possibilitar sua recarga e/ou substituição;
- Comunicação sem fio (*wireless*). Garantir que o robô possa se comunicar com outros robôs ou com centrais de monitoramento, computadores, *smartphones*, e outros objetos de interface remota;
- Aptidão para competições de robótica. Garantir que o robô possa se enquadrar em pelo menos uma modalidade de competição de robótica, como *micromouse* ou robô seguidor de linha;
- Controle. Garantir que o robô possa ser uma ferramenta de estudo, a baixo e médio nível de complexidade, para desenvolvimento de algoritmos de controle em malha fechada;
- Interface. Garantir que o robô possua interface local e a possibilidade de interface remota, para possibilitar a passagem de parâmetros para o mesmo durante sua operação;
- Interação com o ambiente. Garantir que o robô seja capaz de obter informações ao seu redor, que possam auxiliar sua navegação e elaboração de trajeto.

## 2.2 Requisitos não críticos

Os requisitos aqui descritos foram tomados como não-críticos, porém, desejáveis para ampliar a área de aplicação do robô.

- Sensores e atuadores de baixa complexidade, para facilitar a familiarização de novos programadores com sistemas embarcados e robóticas;
- Interface sonora;
- Possibilidade de expansão;
- Possibilidade de carregar sem a conexão de cabos.

Com base nos requisitos já estabelecidos, pode-se definir como atender a cada um e determinar componentes e circuitos funcionais que irão compor o robô. Esse tópico é subdividido de forma a isolar cada circuito funcional, permitindo-se observar quais requisitos ele atende, suas funções, seus princípios de funcionamento, critérios de dimensionamento e cálculos (quando aplicáveis).

## 2.3 Processamento

Como esperado em projetos de robótica, é preciso definir o circuito de processamento, para garantir a possibilidade de programação de algoritmos de tomada de decisões, elaboração de trajetos, controle, comunicação, interface e etc. Em projetos com finalidades específicas, essa definição estaria à mercê dos demais fatores. Definir, por exemplo, um microcontrolador para um robô seguidor de linha, geralmente toma como critério o número de sensores, a necessidade de conversor analógico digital (*ADC*), a necessidade de módulo para gerara sinal *pulse width modulation* (*PWM*), etc.

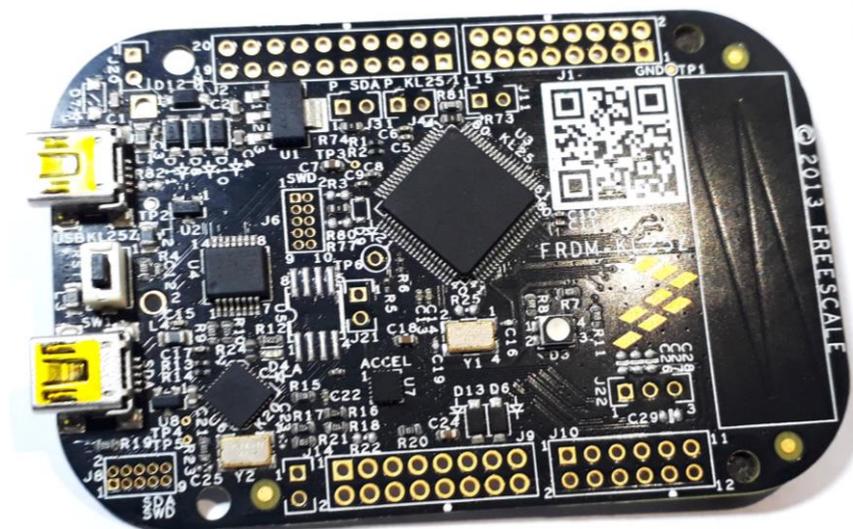
Esse projeto, no entanto, trata-se de uma ferramenta didática razoavelmente abrangente. A unidade de processamento foi definida em primeira instância, como sendo a placa de desenvolvimento KL25Z, desenvolvida originalmente pela *freescale*<sup>TM</sup> *semiconductor*, e atualmente produzida e comercializada pela *NXP*. Trata-se de uma placa integrada, com microcontrolador, interface *Universal Serial Bus* (*USB*), *debugger*, vasto barramento para acesso aos pinos do microcontrolador, fonte interna de regulação de tensão e uma série de outras ferramentas.

A escolha dessa placa teve como principais motivações:

- Sua versatilidade, que permite que a mesma possa ser utilizada em diferentes projetos;
- Sua disponibilidade e uso disseminado no laboratório onde o projeto foi desenvolvido, possibilitando que pesquisadores de diferentes campos de estudo possam aproveitar seus conhecimentos;
- Seu reconhecimento e aceitação no mercado, garantido que se trata de uma ferramenta difundida, aceita pela comunidade científica em geral;
- Seu potencial, tanto didático como profissional, permitindo que o sistema atenda requisitos dos mais básicos aos mais elevados dentro do campo de aplicação proposto;
- Sua facilidade de programação.

Por tratar-se de uma ferramenta didática razoavelmente abrangente e compatível com as ambições do projeto, fez-se coerente a sua escolha antes do dimensionamento dos demais circuitos. Fica claro que circuitos e componentes dimensionados posteriormente foram relacionados de acordo com as limitações a placa KL25Z, mas buscando atender a todos os requisitos iniciais do projeto.

Figura 2.1– Placa de desenvolvimento kl25z.



FONTE: Próprio autor.

A Figura 2.1 ilustra a KL25Z. A mesma possui as dimensões aproximadas de 8,5cm x 5,3cm e possui as seguintes especificações (em resumo):

- Microcontrolador de arquitetura ARMCortex®-M0, MKL25Z128VLK4:
  - *Microcontroller Unit* (MCU) de até 48 MHz;
  - 128 KB flash;
  - 16 KB *Static random-access memory* (SRAM);
  - USB *On-The-Go* (USB OTG);
  - Controlador de Acesso Direto à Memória (DMA);
  - Conversor Analógico Digital (ADC) de 16-bit;
  - *Inter-Integrated Circuit* (I<sup>2</sup>C);
  - *Serial Peripheral Interface* (SPI);
  - *Universal asynchronous receiver-transmitter* (UART);
  - PWM;
  - Relógio de Tempo Real (RTC);
  - Entrada para sensor capacitivo de toque.
- Regulador de tensão de 3,3V;
- Até 16 entradas de ADC disponíveis em barramento;
- Até 24 saídas de PWM disponíveis em barramento;
- Até 3 UART disponíveis em barramento;
- Até 4 I<sup>2</sup>C disponíveis em barramento;
- 1 SPI disponível em barramento;
- *Touch Slider* capacitivo;
- Diodo emissor de luz (LED) tricolor nas cores vermelho, verde e azul (RGB);
- Acelerômetro.

A placa possui outras funções de menor relevância para a abrangência desse documento, cuja investigação é deixada a critério do desenvolvedor de *firmware* que fará uso da ferramenta.

## 2.4 Propulsão

A propulsão do robô deve ser capaz de fazê-lo se movimentar em um plano. Dentre diversas possibilidades, as duas mais aplicáveis são motores de corrente contínua ou motores de passo. São opções compatíveis com o propósito do projeto pois ambos possuem a capacidade de trabalhar com fonte de corrente contínua, girar em ambos os sentidos e seu controle é relativamente simples.

Entre as duas opções, foi escolhido um par de motores de corrente contínua independentes entre si. Em geral, motores de corrente contínua são preferíveis para projetos de robôs móveis, em relação aos motores de passo, por possuírem consumo de energia inferior, dinâmica mais suave, menor peso e menor volume.

Motores de passo por sua vez se destacam pela possibilidade de obter precisão superior à dos motores DC em malha aberta. Como o projeto tem por requisito possibilitar e incentivar o desenvolvimento de algoritmos de controle em malha fechada, esse fator torna-se irrelevante, pois sistemas de controle têm por objetivo corrigir dinamicamente o desenvolvimento do motor e do sistema como um todo com base na leitura de sensores. Assim, fica prevista a necessidade de dimensionar circuitos de sensores que vão auxiliar o robô na navegação e controle.

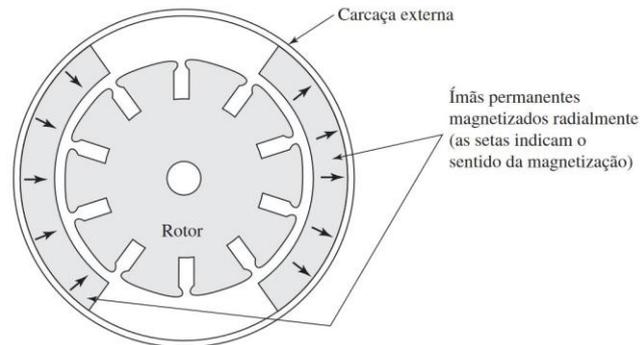
### 2.4.1 *Motor de corrente contínua de ímã permanente*

Os motores de corrente contínua (CC) de ímã permanente são muito encontrados em uma ampla variedade de aplicações de baixa potência. O enrolamento de campo é substituído por um ímã permanente, resultando uma construção mais simples (FITZGERALD, 2014).

Os motores de ímã permanente em geral têm uma estrutura de estator lisa consistindo em uma carcaça cilíndrica externa (ou uma fração dela) de material magnético permanente, com espessura uniforme, magnetizado no sentido radial. Tal estrutura está ilustrada na Figura 2.2, onde as setas indicam o sentido da magnetização. O rotor é acompanhado de comutador, escovas e ranhuras para os enrolamentos, como em todas as máquinas CC (FITZGERALD, 2014).

Não se pretende estudar nesse documento as estruturas internas dos motores escolhidos, e sim se ater às suas especificações, formas de operação e impactos no projeto.

Figura 2.2– Seção transversal de um motor típico de ímã permanente.



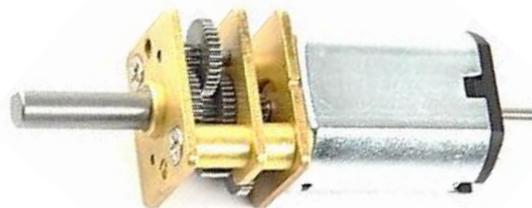
FONTE: (FITZGERALD, 2014).

Em geral, esses motores possuem apenas dois pontos de conexão, que dão acesso ao enrolamento de armadura. Basta aplicar tensão contínua no enrolamento (entre zero e a tensão nominal), para que o motor gire. O sentido da polarização da fonte determina o sentido de giro do rotor.

É comum, para grandes potências, o uso de resistor em série com o enrolamento de armadura para limitar a corrente de partida, bem como o uso de um relé de *by-pass* para anular o resistor quando o motor entrar em regime permanente. Tais recursos não se fazem necessários, visto que o sistema requer motores de pequena potência. Além disso, o driver utilizado dispensa o uso de qualquer circuito externo com essa finalidade.

Foi escolhido um motor de dois eixos com caixa de redução integrada, como o representado na Figura 2.3. A escolha teve como principais motivações a existência caixa de redução integrada; de ambos os eixos disponíveis; de suporte do fornecedor para aplicações em robótica, como presilhas, *encoders* e rodas; e experiências anteriores satisfatórias.

Figura 2.3– Motor de dois eixos com caixa de redução integrada.



FONTE: Próprio autor.

A presença da caixa de redução de velocidade angular é relevante por permitir que o robô possa se locomover sem ser afetado de forma significativa pelo próprio peso em estado de repouso. O custo dessa escolha é a limitação de velocidade máxima, visto que a caixa

de redução funciona a partir de um conjunto de engrenagens, fazendo com que o eixo de saída possua menor velocidade que o eixo principal do motor, porém, maior conjugado.

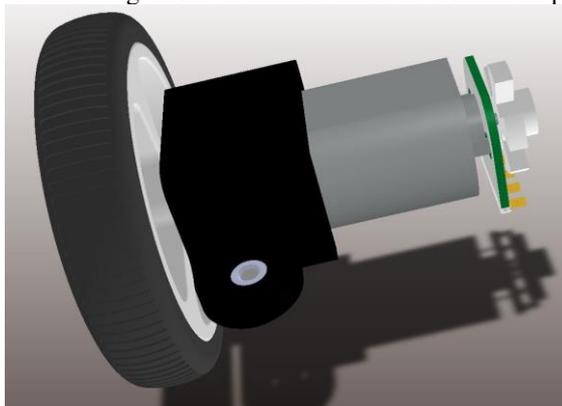
Dada a intenção de abrangência e robustez do projeto, um conjugado elevado é mais desejável do que uma velocidade angular elevada, justificando a presença da caixa de redução. No mercado, existe uma série de possíveis relações de redução disponíveis, variando de 5:1 a 1000:1, bem como diferentes tensões, variando entre 6V e 12V. Fica recomendado o Motor de 6V, com relação de 30:1, por já ter sido testado em projetos similares, e julgado compatível. A tensão de 6V foi escolhida por estar mais próxima da tensão de operação das baterias (3,7V ou 6V). O uso de diferentes relações de transformação fica a critério do usuário, que pode buscar o valor ideal para sua aplicação.

A presença dos dois eixos é fundamental para aprimorar a capacidade de leitura de posição e velocidade angular do motor. Tal leitura geralmente é feita com *encoders*, e é preferível que estes sejam instalados no eixo de alta velocidade, por gerar uma maior quantidade de pulsos por revolução e, portanto, maior precisão.

O motor pode ser obtido em conjunto com outros componentes, como presilha de fixação, parafusos e porcas, roda de 32×7mm e *encoders*.

A Figura 2.4 apresenta a modelagem 3D criada para representar todos os componentes acima referidos, já modularizados e com os terminais de conexões elétricas, para inclusão no *design* da placa. Foram utilizados dois conjuntos, um de cada lado do robô.

Figura 2.4– Modelagem 3D de um dos lados do sistema de propulsão.



FONTE: Próprio autor.

As rodas e presilhas foram escolhidas de forma a tornar o projeto elegante e harmônico. Nenhum outro critério mais técnico foi utilizado.

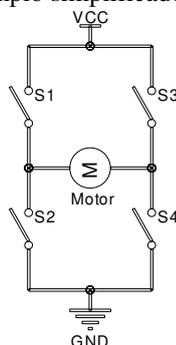
### 2.4.2 Driver de acionamento dos motores

Microcontroladores são circuitos sensíveis, de reduzida capacidade de corrente de saída. Seus sinais em geral possuem potência suficiente apenas para acionar um LED. Para acionar cargas elétricas como motores, ainda que considerados de baixa potência, fazem-se necessários circuitos de amplificação de corrente. Uma solução simples pode ser utilizar um transistor como chave.

Outra questão, no entanto, é a necessidade de reversão do sentido de giro do motor. Uma chave apenas pode garantir o acionamento e a interrupção da carga, sem influenciar no sentido da corrente elétrica.

Uma solução simplificada, a qual atende essa necessidade, é a utilização de uma ponte H. Trata-se de um agrupamento de 4 chaves, cujas combinações podem acionar o motor em sentido horário, anti-horário ou desligá-lo. A Figura 2.5 lustra o princípio básico de funcionamento de uma ponte H com chaves mecânicas.

Figura 2.5– Exemplo simplificado de uma ponte H.



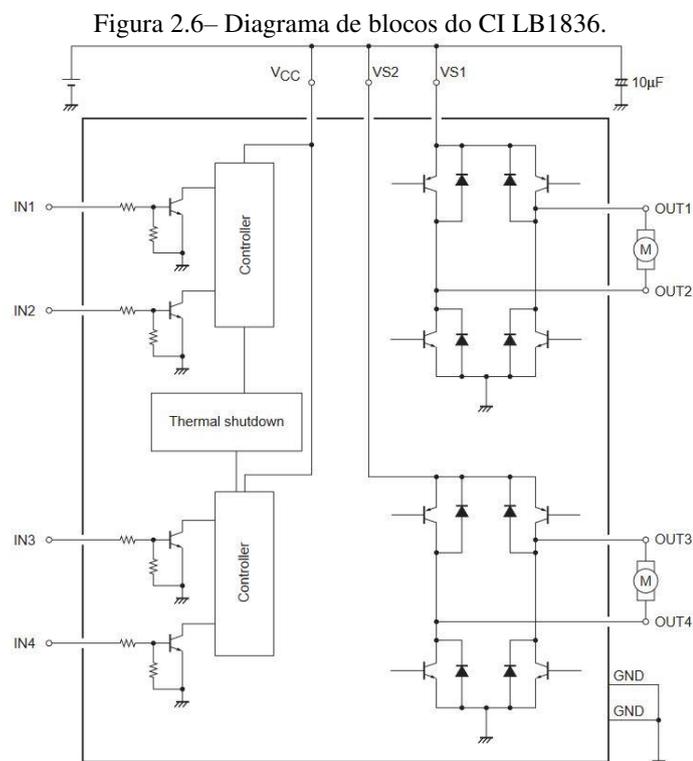
FONTE: Próprio autor.

Observe que:

- O motor permanece desligado ao se manterem as 4 chaves abertas;
- O motor gira em um dos sentidos ao se acionarem as chaves S1 e S4;
- O motor gira no sentido contrário ao se acionarem as chaves S2 e S3.

Não houve motivações para elaborar o circuito eletrônico com duas pontes H para acionamento dos motores. Ao invés disso, optou-se por utilizar um Circuito Integrado (CI) dedicado à essa função. O CI escolhido foi o LB1836M. O diagrama de blocos do mesmo está ilustrado na Figura 2.6, e o componente possui as seguintes características:

- 2 pontes H independentes;
- Tensão de controle e tensão de potência separadas;
- Diodos de roda livre integrados;
- Circuito controlador de sobrecarga do CI integrado;
- Corrente de até 1 A por canal;
- Função de frenagem dinâmica;
- Encapsulamento compacto.



FONTE: ON Semiconductor®. Datasheet. LB1836M. 2013.

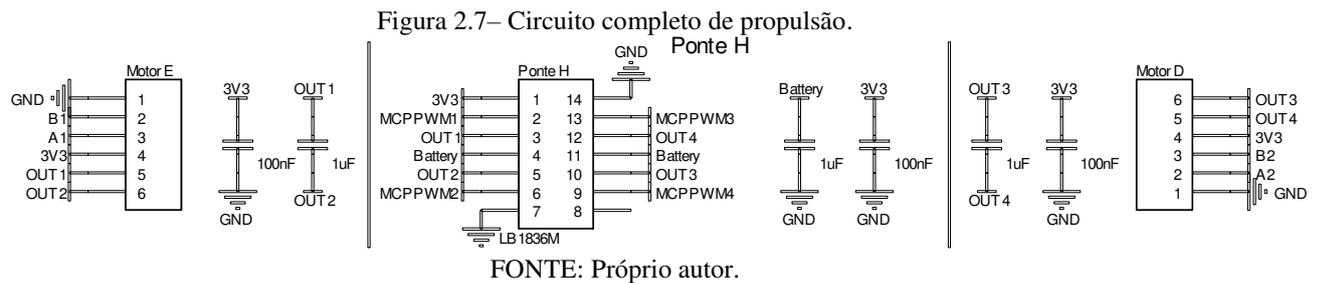
O acionamento dos motores, através do circuito integrado, é possível através dos pinos de entrada *IN1*, *IN2*, *IN3* e *IN4*. A Tabela 2.1 (tabela verdade) apresenta as possibilidades de combinação de entrada e os resultados de saída.

Tabela 2.1– Tabela Verdade do CI LB1836M.

IN1/3	IN2/4	OUT1/3	OUT2/4	Mode
H	L	H	L	Direto
L	H	L	H	Reverso
H	H	L	L	Frenagem
L	L	OFF	OFF	Desligado

FONTE: ON Semiconductor®. Datasheet. LB1836M. 2013.

O controle de velocidade dos motores pode ser feito aplicando sinais PWM nos pinos de entrada do CI LB1836M. Os pinos da KL25Z dedicados a esse controle são os pinos J2\_02, J2\_06, J2\_08, J2\_10, respectivamente para as entradas IN1, IN2, IN3 e IN4. A Figura 2.7 apresenta o circuito completo de propulsão.



Os sinais A1, A2, B1 e B2 são referentes aos *encoders*. Os pinos do microcontrolador deverão ser configurados para operar como PWM independentes, a frequência de operação sugerida é na ordem de 1 kHz (o fabricante não informa a máxima frequência de operação) e a tensão média no motor será regulada pela razão cíclica (*duty cycle*) do PWM, conforme a equação:

$$V_{méd} = V_{Bateria} \times D, \quad 1 \geq D \geq 0 \quad (3.1)$$

Onde,

$V_{méd}$  é a tensão média;

$V_{Bateria}$  é a tensão da bateria;

$D$  é a razão cíclica do sinal PWM.

A malha de potência do driver é energizada diretamente pela bateria, sem sofrer regulação de tensão. Com definido na seção 2.9, a máxima tensão de alimentação permitida é de 9V. Como a tensão nominal do motor é de 6V, é crítico definir por *software* um limitador lógico do valor máximo da razão cíclica do PWM, para garantir que a tensão média do motor não ultrapasse 6V. Isso pode ser facilmente realizado a partir da leitura da tensão da bateria (seção 2.9), e ajustado conforme a equação (3.2)

$$\begin{cases} D_{m\acute{a}x} = 1 & , se V_{Bateria} \leq 6V \\ D_{m\acute{a}x} = \frac{6V}{V_{Bateria}} & , se V_{Bateria} > 6V \end{cases} , 1 \geq D \geq 0 \quad (3.2)$$

Onde,

$D_{m\acute{a}x}$  é a máxima razão cíclica do sinal PWM;

$V_{Bateria}$  é a tensão da bateria;

## 2.5 Navegação

O projeto do robô tem por requisitos ser capaz de:

- Obter informações do ambiente ao seu redor;
- Elaborar trajetórias;
- Movimentar-se em malha fechada.

Para auxiliar sua navegação e atender aos requisitos, foram escolhidos os seguintes tipos de sensores:

- *Encoders*, para viabilizar a leitura de posição e velocidade dos motores;
- Pares infravermelhos para detecção de obstáculos;
- Pares infravermelhos para detecção de linha desenhada no piso;
- Magnetômetro (bússola) para auxiliar a orientação;
- Giroscópio para auxiliar o controle durante manobras rotativas;
- Acelerômetro para verificar inclinações.

A função de cada sensor, ou grupo de sensores, é detalhada nos seguintes subtópicos.

### 2.5.1 *Encoders*

*Encoders*, no presente campo de estudo, são sensores dedicados a possibilitar a leitura da variação de posição de atuadores eletromecânicos. Para o sistema projetado, pode-se adotar qualquer uma das opções entre *encoder* óptico e *encoder* magnético. Ambas são compatíveis com o motor e a placa principal.

### 2.5.1.1 Encoder óptico

Sensor anexável ao eixo de alta rotação do motor, com dois sinais de saída. A Figura 2.8 ilustra a placa do sensor. O disco branco “dentado” funciona com obstáculo reflexivo, enquanto os dois sensores IR presentes na placa permitem a leitura dos “dentes”. É possível configurar o microcontrolador para realizar a leitura nas bordas de subida e descida de sinal. Assim, com 5 dentes, 2 sensores e 2 bordas por dente, é possível detectar a variação angular do eixo de alta velocidade com uma precisão de 20 pulsos por revolução, de forma que cada pulso representa uma variação angular de 18° (passo). A sensibilidade de detecção de variação angular do eixo de baixa velocidade (eixo da roda) irá depender da relação de transformação da caixa de redução do motor, conforme a equação:

$$Passo_{baixa} = \frac{Passo_{alta}}{N_r} \quad (3.3)$$

Onde,

$Passo_{baixa}$  é o ângulo necessário no eixo de baixa para produzir um pulso;

$Passo_{alta}$  é o ângulo necessário no eixo de alta para produzir um pulso;

$N_r$  é razão entre a velocidade de alta e a velocidade de baixa.

Figura 2.8– Placa eletrônica do *encoder* óptico.



FONTE: Próprio autor.

A tensão de operação do sensor pode ser de 3,3V ou 5V. É importante garantir que o encoder esteja configurado para operar em 3,3V.

### 2.5.1.2 Encoder magnético

Sensor anexável ao eixo de alta rotação do motor, com dois sinais de saída. A Figura 2.9 ilustra a placa do sensor. O disco preto possui 6 polos magnéticos, enquanto os dois

sensores de efeito hall presentes na placa permitem a leitura dos polos. É possível configurar o microcontrolador para realizar a leitura nas bordas de subida e descida de sinal. Assim, com 6 polos, 2 sensores e 2 bordas por polo, é possível detectar a variação angular do eixo de alta velocidade com uma precisão de 24 pulsos por revolução, de forma que cada pulso representa uma variação angular de 15° (passo). A sensibilidade de detecção de variação angular do eixo de baixa velocidade (eixo da roda) irá depender da relação de transformação da caixa de redução do motor, conforme a equação (3.3).

Figura 2.9– Placa eletrônica do *encoder* magnético.



FONTE: Próprio autor.

Os sensores estão espaçados na placa de forma a produzir uma defasagem elétrica de aproximadamente 90° entre seus os sinais. Essa defasagem permite determinar por software o sentido de rotação do motor, a partir da leitura de qual sinal está atrasado em 90°. Na prática, basta verificar o estado de um dos sinais durante a borda de subida do outro. Outro fator de ordem prática é que, na maioria dos casos, não há necessidade dessa leitura, visto que o sentido de rotação geralmente é definido pelo *firmware*.

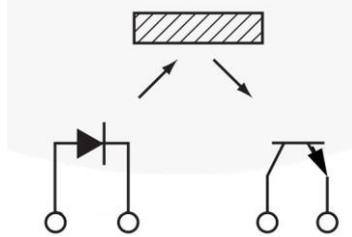
Os pinos da KL25Z designados para a leitura dos sinais A e B de cada sensor são os J1\_01, J2\_04, J2\_07, J2\_19.

### 2.5.2 Pares infravermelhos para detecção de obstáculos

Sensores infravermelhos são bastante utilizados em projetos de robótica para detecção de obstáculos. Em geral, funcionam como par emissor/receptor infravermelhos, alinhados de forma a possibilitar que uma superfície próxima ocasione a reflexão do sinal emitido para o receptor. O emissor adotado é um LED infravermelho de 5mm de diâmetro, enquanto o receptor é um fototransistor, com mesmo encapsulamento do emissor. A Figura 2.10

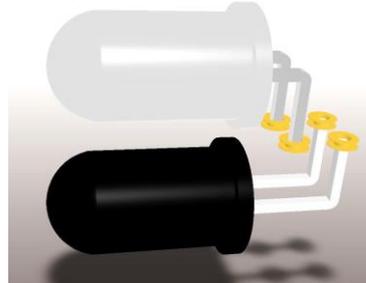
ilustra o princípio de funcionamento do par, enquanto a Figura 2.11 apresenta a modelagem 3D criada para o mesmo.

Figura 2.10– Princípio de funcionamento do par IR.



FONTE: *ON Semiconductor®.Datasheet. QRE1113. 2018.*

Figura 2.11– Modelagem 3D do par IR detector de obstáculos.



FONTE: Próprio autor.

O emissor, por se tratar de um diodo, requer a adição de um resistor em série, para limitar a corrente de condução. Já o receptor, por tratar-se de um transistor, requer um resistor em série para definir a curva de tensão de saída conforme a variação da intensidade da corrente de coletor, que é proporcional a intensidade da luz captada. O fototransistor obedece a regras semelhantes ao Transistor Bipolar de Junção (TBJ) convencional, exceto que a corrente de base é produzida internamente, estimulada pelo efeito fotoelétrico.

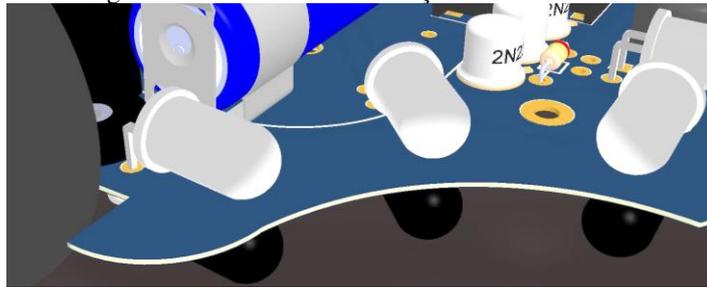
Foram instalados 6 sensores (Figura 2.12) na parte dianteira do robô. Os emissores foram instalados na camada superior, enquanto os receptores foram instalados na camada inferior (Figura 2.13).

Figura 2.12– Distribuição dos 6 sensores IR (realçados).



FONTE: Próprio autor.

Figura 2.13– Detalhe da instalação dos sensores IR.



FONTE: Próprio autor.

O circuito desenvolvido pode ser observado na Figura 2.14. Os blocos representam o par emissor/receptor, da seguinte forma:

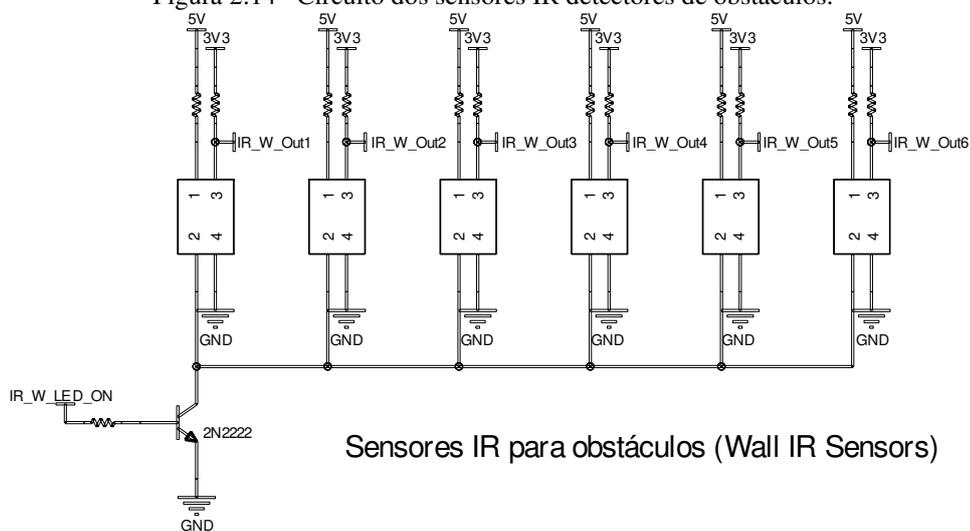
- Pino 1: Anodo do emissor IR;
- Pino 2: Catodo do emissor IR;
- Pino 3: Coletor do receptor IR;
- Pino 4: Emissor do receptor IR.

Fica sugerida a adição de uma capa aos fototransistores, para minimizar a influência das luzes dos demais emissores presentes no circuito. Uma solução pode ser o uso de termo-retrátil.

Os pinos da KL25Z designados para a leitura dos sensores são os J10\_01, J10\_03, J10\_05, J10\_07, J10\_09, J10\_011.

O pino da KL25Z designado para o acionamento dos emissores é o J9\_01.

Figura 2.14– Circuito dos sensores IR detectores de obstáculos.

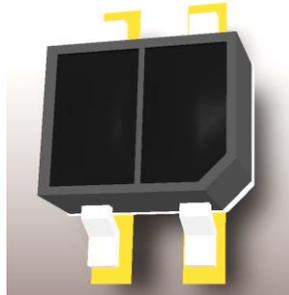


FONTE: Próprio autor.

### 2.5.3 Pares infravermelhos para detecção de linha

Sensores infravermelhos também são bastante utilizados em projetos de robótica para detecção de linhas marcadas no piso. Em geral, funcionam como par emissor/receptor infravermelhos, alinhados de forma a possibilitar que o robô detecte uma linha branca em fundo preto, ou linha preta em fundo branco. O sensor adotado é CI QRE1113 composto um LED infravermelho e um fototransistor, ambos no mesmo encapsulamento. A Figura 2.10 ilustra o princípio de funcionamento do par, enquanto a Figura 2.15 apresenta a modelagem 3D criada para o mesmo.

Figura 2.15– Modelagem 3D do sensor IR QRE1113.



FONTE: Próprio autor.

O emissor, por tratar-se de um diodo, requer a adição de um resistor em série, para limitar a corrente de condução. Já o receptor, por tratar-se de um transistor, requer um resistor em série para definir a curva de tensão de saída conforme a variação da intensidade da corrente de coletor, que é proporcional a intensidade da luz captada. O fototransistor obedece a regras semelhantes ao transistor bipolar de junção (TBJ) convencional, exceto que a corrente de base é produzida internamente, estimulada pelo efeito fotoelétrico.

Foram instalados seis sensores (Figura 2.16) na parte inferior da placa. Em modelos mais simples, apenas dois sensores digitais são instalados e seu controle se limita a ligar e desligar um dos motores de forma a fazer com que o robô se mantenha na linha, ainda que de forma oscilatória. A presença dos seis sensores digitais garante a possibilidade de determinar com maior precisão onde está a linha e, com base no erro, apresentar uma resposta mais suave ou mais brusca. Algoritmos de controle podem ser estudados e aplicados efetivamente nesse caso.

Figura 2.16– distribuição dos 6 sensores IR QRE1113 (realçados).



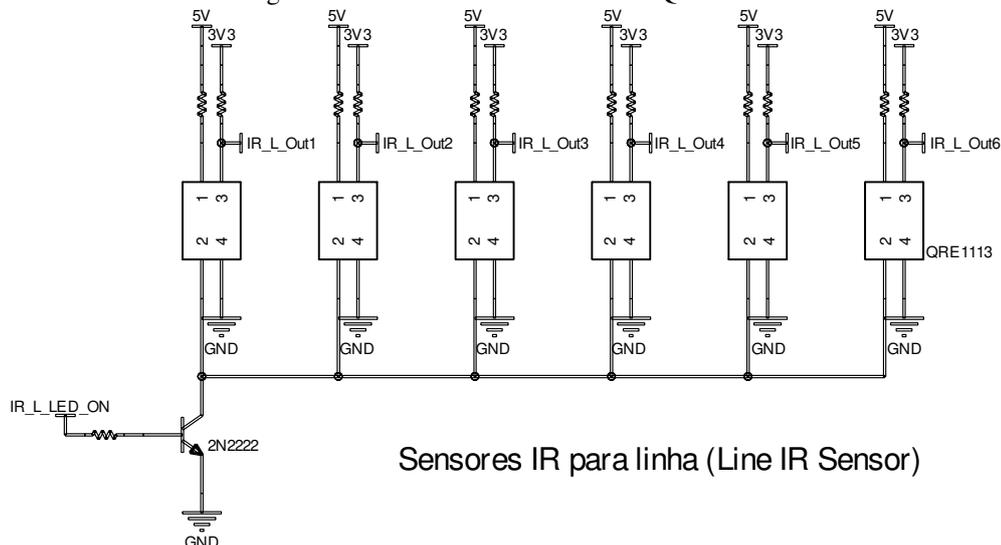
FONTE: Próprio autor.

O circuito desenvolvido pode ser observado na Figura 2.17.

- Pino 1: Anodo do emissor IR;
- Pino 2: Catodo do emissor IR;
- Pino 3: Coletor do receptor IR;
- Pino 4: Emissor do receptor IR.

Em ambos os circuitos de sensores IR transistor tem por função operar como chave geral para os emissores. Já os resistores em série com os LEDs IR e o resistor de base do transistor devem ser dimensionados conforme descrito no seção 3.3, bem como os resistores em série com os receptores não foram dimensionados. Os mesmos são responsáveis por determinar a curva de tensão de resposta do sensor. seu dimensionamento fica para a ocasião de montagem, onde devem ser realizados ensaios com os receptores, sob as condições esperadas de operação, para determinar o valor ideal da resistência. Seu valor deve ser escolhido de forma a oferecer a curva de resposta mais ampla possível, assegurando que o circuito não entre em saturação.

Figura 2.17– Circuito dos sensores IR QRE1113.



FONTE: Próprio autor.

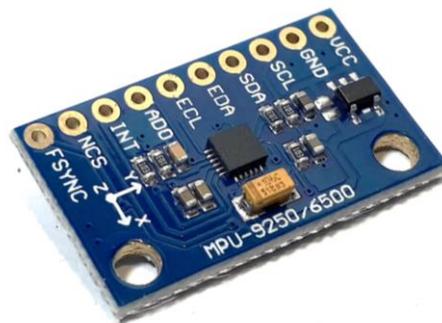
Os pinos da KL25Z designados para a leitura dos sensores são os J10\_02, J10\_04, J10\_06, J10\_08, J10\_10, J10\_012.

O pino da KL25Z designado para o acionamento dos emissores é o J1\_05;

#### 2.5.4 Magnetômetro, Giroscópio e acelerômetro

Para garantir as três funções, a solução mais simples foi adotar um módulo com os três sensores integrados. Foi escolhido o MPU-9250, por sua disponibilidade de mercado, aceitação e custo. A Figura 2.18 ilustra o módulo.

Figura 2.18– Módulo MPU-9250.



FONTE: Próprio autor.

O MPU-9250 é um módulo que integra as 3 funções desejadas. Cada leitura possui os três eixos cartesianos ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Seu uso permite que o robô seja capaz de se orientar de forma significativamente precisa durante sua movimentação, por fornecer informações capazes de determinar sua inclinação, posição angular em relação a um eixo de referência previamente estabelecido, bem como sua taxa de variação angular durante um movimento rotativo.

A leitura do módulo é feita a partir de comunicação I<sup>2</sup>C, permitindo-se que, com o mesmo canal (2 pinos), seja possível obter as 3 medidas. O módulo não requer circuito adicional, e opera em 3,3V.

Os pinos do módulo avaliados como necessários para a aplicação são os SCL e SDA. Os mesmos estão conectados, respectivamente, aos pinos J1\_13 e J1\_15 da KL25Z.

## 2.6 Comunicação sem fio

Um dos principais requisitos do projeto é a capacidade de se comunicar sem fio. Atender a essa necessidade implica em possibilitar que o robô possa ser monitorado por computadores, smartphones, interfaces remotas genéricas ou outros robôs, bem como receber parâmetros de configuração dos mesmos.

A possibilidade de comunicação entre robôs abre caminho para estudos de robótica distribuída, sistemas colaborativos entre outros.

Para esses fins, foram selecionados os seguintes módulos:

- *Bluetooth* (HC-05)
- *Wi-Fi* (ESP 8266)

### 2.6.1 Módulo *Bluetooth HC-05*

O módulo *Bluetooth HC-05* (Figura 2.19) é um dispositivo de uso simples e de excelente custo benefício. Possui as seguintes características:

- Tensão de alimentação: 3,3V;
- Comunicação via serial, acessível por qualquer UART;
- *Bluetooth* Versão 2.0;
- Alcance médio de 10m;
- Opera apenas no modo escravo, não podendo se conectar a outro HC-05.

Figura 2.19– Módulo *bluetooth HC-05*.



FONTE: Próprio autor.

Para usá-lo, basta pará-lo com qualquer outro dispositivo e a comunicação serial será estabelecida, sem a necessidade de comandos AT.

Os pinos da KL25Z designados para a comunicação serial com esse módulo são os J2\_18 e J2\_20.

### 2.6.2 Módulo Wi-fi ESP 8266

O módulo *Wi-Fi* ESP-8266 (Figura 2.20) é um dispositivo, e de excelente custo benefício. Possui as seguintes características:

- Tensão de alimentação: 3,3V;
- Comunicação via serial, acessível por qualquer UART;
- Antena SMD integrada;
- Frequência de 2.4 GHz;
- Suporte aos protocolos de segurança em redes WPA e WPA2;
- Utiliza comandos AT conforme tabela do módulo.
- 

Figura 2.20– Módulo *Wi-Fi*ESP-8266.



FONTE: Próprio autor.

Os pinos da KL25Z designados para a comunicação serial com esse módulo são os J1\_02 e J1\_04.

## 2.7 Interface

Com o objetivo de garantir que o usuário possa interagir com o sistema, foram definidos alguns mecanismos de entrada e saída de informações para expandir a interface já existente na KL25Z (sensor *slide* capacitivo e LED RGB). As motivações para cada dispositivo foram diferentes, podendo ser de ordem funcional ou estética.

### 2.7.1 Botões

A Figura 2.21 apresenta a disposição escolhida para dois botões de uso geral. Estão ligados aos pinos J1\_01 e J2\_19 da KL25Z e possuem um resistor de *pull-up*, de forma que informam nível lógico ‘0’ ao microcontrolador quando pressionados.

Figura 2.21– Botões de uso geral presentes no robô (realçados).



FONTE: Próprio autor.

### 2.7.2 LEDs

A Figura 2.22 apresenta a disposição escolhida para 6 LEDs. Estão ligados aos pinos J1\_07, J1\_09, J1\_11, J2\_03, J2\_05 e J2\_09 da KL25Z e possuem um resistor em série para limitação de corrente. As opções de uso são diversas, como informar o nível da bateria, ou produzir um “display de ar”, girando o robô em torno do próprio centro geométrico.

Foram incluídos para melhor aproveitar o potencial da KL25Z, e oferecer uma ferramenta mais simples e estética para os iniciantes em robótica. Pode, no entanto, ser utilizado de forma funcional, conforme o campo de aplicação do desenvolvedor. Sua instalação é opcional.

Figura 2.22– LEDs uso geral presentes no robô (realçados).



FONTE: Próprio autor.

### 2.7.3 Luz de chassi

A Figura 2.23 apresenta a disposição escolhida para quatro LEDs RGB de anodo comum, ao longo da parte inferior do robô.

Um LED RGB é um componente que possui três LEDs integrados no mesmo encapsulamento, nas cores vermelha, verde e azul. Por se tratarem das três cores primárias, é possível obter qualquer variação de cor, controlando a corrente média em cada canal.

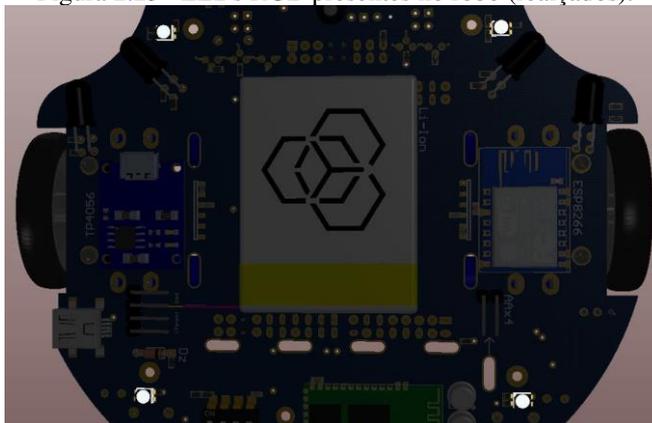
Foram incluídos para melhor aproveitar o potencial da KL25Z, e oferecer uma ferramenta mais simples e estética para os iniciantes em robótica. Pode, no entanto, ser utilizado de forma funcional, conforme o campo de aplicação do desenvolvedor. Sua instalação é opcional.

Os 4 LEDs RGB estão ligados em paralelo e possuem seus canais acionados por transistores. A Figura 2.24 apresenta o circuito desenvolvido. Os transistores operam como chave, enquanto os sinais de acionamento dos mesmos deverão ser do tipo PWM. A variação da razão cíclica (*duty cycle*) do PWM de cada canal (vermelho, verde ou azul) irá determinar sua intensidade, e, portanto, sua influência na composição da cor final.

Os pinos J1\_10, J1\_08 e J1\_06 da KL25Z foram alocados para comandar, respectivamente, os canais vermelho, verde e azul.

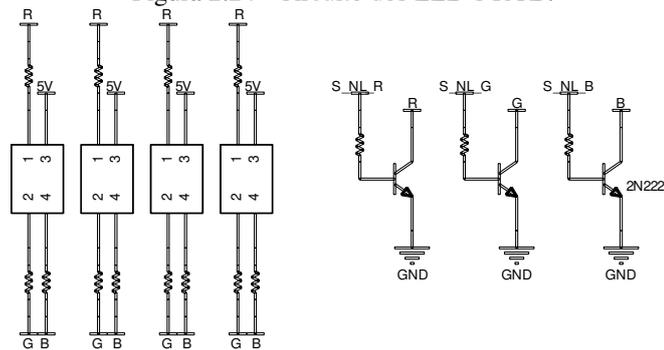
Os resistores limitadores de corrente dos LEDs e os resistores de base dos transistores devem ser dimensionados conforme apresentado na seção 3.3.1

Figura 2.23– LEDs RGB presentes no robô (realçados).



FONTE: Próprio autor.

Figura 2.24– Circuito dos LED's RGB.



FONTE: Próprio autor.

### 2.7.4 Faróis

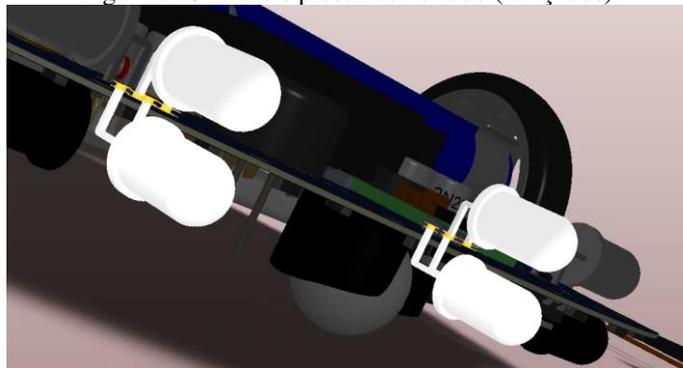
A Figura 2.25 apresenta a disposição escolhida para 2 pares de LED de alto brilho. Estes possuem apenas a função de funcionar como faróis e são considerados como requisito não-crítico.

Foram incluídos para melhor aproveitar o potencial da KL25Z, e oferecer uma ferramenta mais simples e estética para os iniciantes em robótica. Pode, no entanto, ser utilizado de forma funcional, conforme o campo de aplicação do desenvolvedor. Sua instalação é opcional.

Os LEDs estão ligados em paralelo e são acionados por um transistor. A Figura 2.26 apresenta o circuito desenvolvido. O transistor opera como chave, enquanto o sinal de acionamento do mesmo deverá ser do tipo PWM. A variação da razão cíclica (*duty cycle*) do PWM irá determinar a intensidade dos faróis.

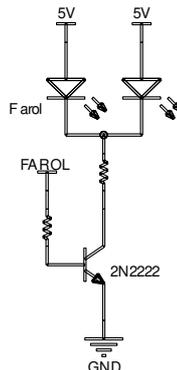
O pino J2\_13 da KL25Z foi alocado para comandar os faróis.

Figura 2.25– Faróis presentes no robô (realçados).



FONTE: Próprio autor.

Figura 2.26– Circuito dos faróis.



FONTE: Próprio autor.

### 2.7.5 Display LCD

A Figura 2.27 apresenta a disposição escolhida para conexão de um Liquid Crystal Display (LCD) 8x2 compacto. Este possui apenas a função oferecer uma interface adicional mais detalhada em *hardware*, e é considerado como requisito não-crítico, pois os módulos de comunicação sem fio já possibilitam o uso de interface remota com maior riqueza de detalhes.

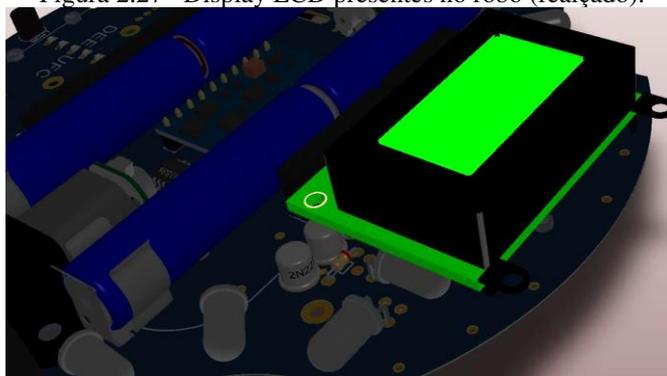
Foi incluído para melhor aproveitar o potencial da KL25Z, e oferecer uma ferramenta mais simples para os iniciantes em robótica. Pode, no entanto, ser utilizado de forma funcional, conforme o campo de aplicação do desenvolvedor. Sua instalação é opcional.

O circuito (Figura 2.28) prevê a possibilidade de acionar o *backlight* (luz de fundo) do display, quando o este possuir um, a partir de um transistor (operando como chave). O display é comandado por 6 pinos de sinais. D4, D5, D6 e D7 são dedicados à passagem de meio *byte* por vez, de forma que são necessários dois ciclos para a escrita de um caractere de 1 *byte*. Os códigos de escrita seguem o padrão ASCII, tabelado. Os pinos EN e RS são responsáveis por disparar os 4 *bits* de escrita.

Os pinos J9\_09, J9\_11, J9\_13, J9\_15, J9\_03 e J9\_05 da KL25Z foram alocados para comandar, respectivamente, pinos D4, D5, D6, D7, RS e EN do display.

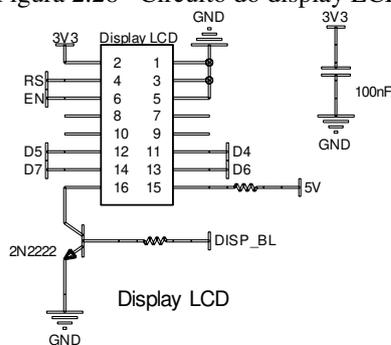
O pino J9\_07 da KL25Z foi alocado para comandar o *backlight*.

Figura 2.27– Display LCD presentes no robô (realçado).



FONTE: Próprio autor.

Figura 2.28– Circuito do display LCD.



FONTE: Próprio autor.

### 2.7.6 Sinal sonoro (*Buzzer*)

A Figura 2.29 apresenta a disposição escolhida para conexão de um emissor de sinal sonoro (*Buzzer*). Este possui apenas a função oferecer uma interface adicional às demais interface luminosas e é considerado como requisito não-crítico.

Foi incluído para melhor aproveitar o potencial da KL25Z, e oferecer uma ferramenta mais simples para os iniciantes em robótica. Pode, no entanto, ser utilizado de forma funcional, conforme o campo de aplicação do desenvolvedor. Sua instalação é opcional.

O circuito (Figura 2.30) permite o acionamento do *buzzer* a partir de um transistor (operando como chave), enquanto o sinal de acionamento do mesmo deverá ser do tipo PWM. A frequência do PWM irá determinar o tom sonoro emitido.

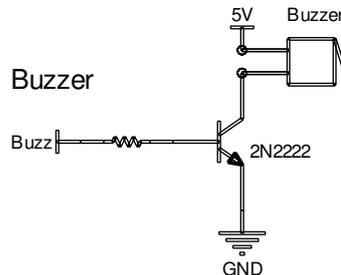
O pino J1\_12 da KL25Z foi alocado para comandar o *buzzer*.

Figura 2.29– *Buzzer* presentes no robô (realçado).



FONTE: Próprio autor.

Figura 2.30– Circuito de acionamento do *buzzer*.



FONTE: Próprio autor.

## 2.8 Outros sensores

Também foram incorporados ao projeto sensores de nível de luminosidade e de temperatura, os quais não compõem nem a interface nem o sistema de navegação. São considerados requisitos não-críticos, e sua instalação é opcional.

Dentre as motivações para inclusão desses sensores, estão:

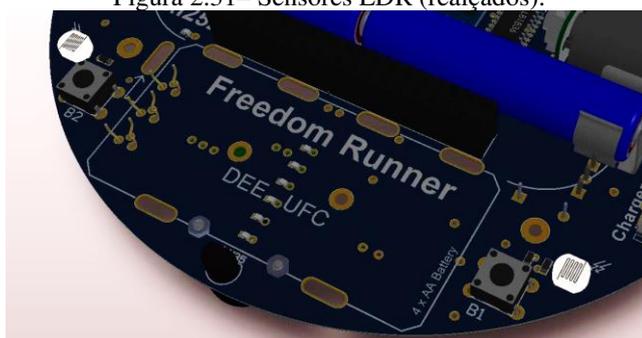
- Melhor aproveitar os pinos disponíveis da KL25Z
- Tornar a plataforma mais completa e abrangente, permitindo que programadores iniciantes e entusiasmados possam estudar sistemas de monitoramento associados à robótica.

### 2.8.1 *Sensor de nível de luminosidade*

O sensor de luminosidade é um circuito composto por dois resistores dependentes de luz (LDR). Tais resistores possuem resistência variável, inversamente proporcional a intensidade de luz incidente. Como pode ser observado na Figura 2.31, foram instalados dois sensores.

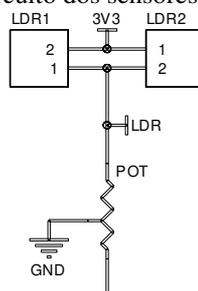
O circuito apresentado na Figura 2.32 mostra que os sensores foram associados em paralelo. Tal escolha tem por objetivo produzir uma média entre as intensidades de luz captadas dos dois lados do robô, sem a necessidade de utilizar duas portas analógicas do microcontrolador. Observe que o resistor série é um potenciômetro variável. Ele tem por função sintonizar manualmente a sensibilidade do sensor.

Figura 2.31– Sensores LDR (realçados).



FONTE: Próprio autor.

Figura 2.32– Circuito dos sensores de luminosidade.



FONTE: Próprio autor.

O pino J1\_03da KL25Z foi alocado para a leitura analógica do sensor de luminosidade.

## 2.8.2 Sensor de temperatura

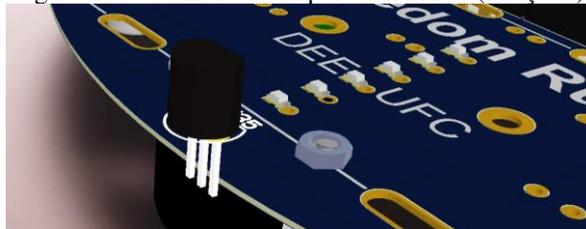
O sensor de temperatura é o circuito integrado LM35. Trata-se de um componente eletrônico capaz de gerar uma tensão no seu terminal de saída proporcional a temperatura ambiente. Possui as seguintes especificações:

- Resposta linear de 10 mV/°C;
- Capaz de medir até 150 °C;
- Operação de 4 a 30 V;

A Figura 2.33 mostra sua posição no robô, enquanto a Figura 2.34 apresenta o circuito utilizado. O sensor é energizado pela malha de 5V, e não a de 3,3V como os demais. Isso se deve ao fato de que a mínima tensão de alimentação válida para a operação é de 4V, conforme especificado pelo fabricante. Isso não altera a capacidade de leitura do microcontrolador, mas tem como consequência a necessidade de adicionar um circuito grameador de tensão, para 3,3V, com o a finalidade de garantir que a tensão de entrada do ADC da KL25Z esse valor. Trata-se apenas de uma medida de segurança, visto que um problema interno com o CI poderia levar a tensão de saída a 5V. Na prática, a tensão máxima de saída deve ser de 1,5V, a 150 °C (temperatura máxima de operação).

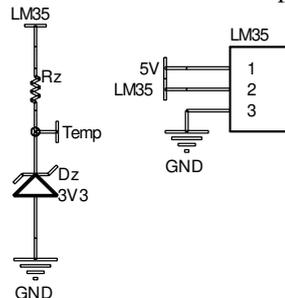
O pino J2\_12da KL25Z foi alocado para a leitura analógica do LM35.

Figura 2.33– Sensor de temperatura LM35 (realçado).



FONTE: Próprio autor.

Figura 2.34– Circuito do sensor de temperatura LM35.



FONTE: Próprio autor.

## 2.9 Energização

Uma vez que todos os circuitos principais estão definidos, é possível dimensionar as fontes do circuito. O primeiro passo é determinar a corrente média de todos os componentes relevantes. A Tabela 2.2 relaciona as correntes médias estimadas elétricas de cada bloco descrito anteriormente, com base nos seus valores mais relevantes. Correntes de base de transistores, correntes de fuga, dentre outras, não foram consideradas e entrarão na margem de segurança.

Tabela 2.2– Estimativa de corrente por bloco funcional.

KL25Z	Até 80 mA
2 Motores	60 mA
2 Encoder	Até 40 mA
Módulo <i>Bluetooth</i>	Até 150 mA
Módulo <i>Wi-fi</i>	Até 170 mA
Módulo MPU-9250	30mA
Sensores IR de obstáculos	120 mA
Sensores IR de linha	80 mA
Faróis	80 mA
Luz de chassi	120 mA
Barra de LEDs	30 mA
Display LCD	50 mA
<i>Buzzer</i>	30 mA

FONTE: Próprio autor.

Com base nos valores estimados de corrente, observa-se que seria necessária uma fonte com a capacidade de fornecer aproximadamente 1 A. Uma inspeção prévia verificou que fornecer esse valor de corrente exigiria baterias e conversores de tamanho superior ao desejado para essa aplicação.

Nesse ponto, cabe a análise de que não há razão prática para que a maioria dos blocos operem simultaneamente. A motivação de carregar o circuito com diversos tipos de sensores, atuadores e módulos foi possibilitar versatilidade e abrangência no uso da ferramenta. Como a maioria dos blocos funcionais recebem comandos do microcontrolador, basta que se garanta um intertravamento lógico entre blocos de funções semelhantes, e a corrente total estimada cai significativamente.

### 2.9.1 Intertravamento lógico

Um intertravamento é um mecanismo que associa vários dispositivos e garante que, caso um deles esteja ligado, os demais serão mantidos desligados. Existem diversos tipos de intertravamentos, entre eles:

- Intertravamento mecânico;
- Intertravamento elétrico;
- Intertravamento lógico.

Intertravamento lógico é aquele que toma como mecanismo dispositivos digitais, com base em associação de componentes lógicos, ou algoritmo de programação. Uma programação simples no código da KL25Z pode permitir a implementação dessa função.

Sugere-se o seguinte agrupamento de blocos, para garantir que o sistema possa operar com consumo de energia limitado:

- Grupo 1
  - KL25Z
- Grupo 2
  - Motores
- Grupo 3
  - *Encoders*
- Grupo 4
  - Módulo Wi-fi;
  - Módulo Bluetooth.
- Grupo 5
  - Módulo MPU-9250
- Grupo 6
  - Sensor IR de obstáculos;
  - Sensor IR de Linha;
  - Luz de Chassi;
  - Barra de LEDS;
  - Faróis;
  - Display LCD.
- Grupo 7
  - Buzzer

A Tabela 2.3 apresenta as máximas correntes possíveis em cada grupo intertravado. Foi escolhida a maior corrente dentre os blocos presentes em cada grupo.

Tabela 2.3– Estimativa de corrente por grupo intertravado.

Grupo 1	Até 80 mA
Grupo 2	Até 60 mA
Grupo 3	Até 40 mA
Grupo 4	Até 170 mA
Grupo 5	Até 30 mA
Grupo 6	120 mA
Grupo 7	30 mA

FONTE: Próprio autor.

Com base no proposto, fica definido que os motores serão energizados direto pela bateria, por não haver necessidade de tensão regulada para o funcionamento do mesmo. Com base nas medidas dos valores da bateria, o valor da razão cíclica de controle do motor pode ser ajustado para manter sua tensão média à medida que a bateria perde carga. Os demais grupos demandam uma corrente de até 450 mA.

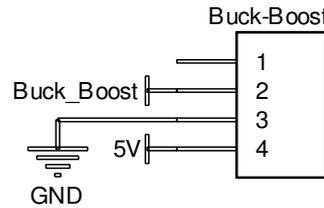
### 2.9.2 Regulação de tensão

Uma vez que os valores de corrente estão definidos, pode-se definir as fontes. Será necessária uma malha de tensão regulada de 5 V, para energizar a maioria dos circuitos. Para isso, foi escolhido um módulo conversor de topologia *buck-boost*. Um conversor *buck-boost* é um dispositivo eletrônico chaveado capaz de converter o nível de tensão de entrada, elevando ou abaixando essa tensão, e disponibilizando a nova tensão regulada em seu barramento de saída. A Figura 2.35 ilustra o conversor escolhido, enquanto a

Figura 2.36 apresenta seu diagrama de conexão. O pino não utilizado foi mantido para que o projeto possa ser compatível com outras versões similares de 4 pinos (em que o quarto pino também não se faz necessário).

Figura 2.35– Conversor *Buck-Boost*.

FONTE: Próprio autor.

Figura 2.36– Circuito do conversor *Buck-Boost*.

FONTE: Próprio autor.

O conversor escolhido possui faixa de tensão válida de entrada de 2,7 V a 11,8 V. A restrição de 3 a 9V é para oferecer uma margem de segurança. A corrente máxima que o conversor pode oferecer é de 1 A.

A malha de 5 V será necessária para energizar os circuitos conforme o esquema presente no anexo 01, bem com a KL25Z.

A KL25Z possui regulador interno para a malha de 3,3V, para energização dos próprios circuitos e de circuitos externos.

O robô conta, portanto, com três malhas diferentes de tensão, com referência comum:

- Bateria;
- 5V;
- 3,3V.

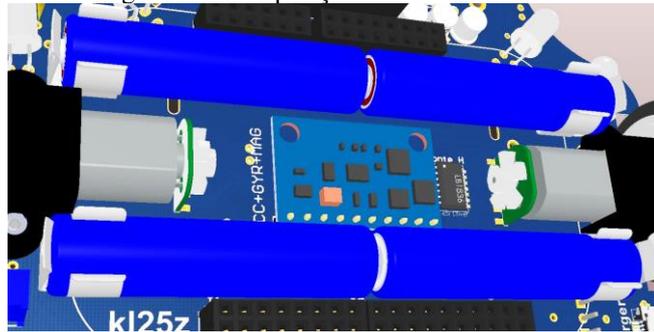
### 2.9.3 Baterias

Com o interesse de garantir versatilidade e adaptabilidade do sistema, foram previstas diferentes opções de energização do robô. Foram elas:

- 4 Baterias AAA (pilha palito) [Figura 2.37];
- 1 Bateria de Íon-Lítio (Li-ion) de 3,7V recarregável [Figura 2.38];
- Espaço livre para fixação de qualquer bateria de 3 a 9V [Figura 2.39].

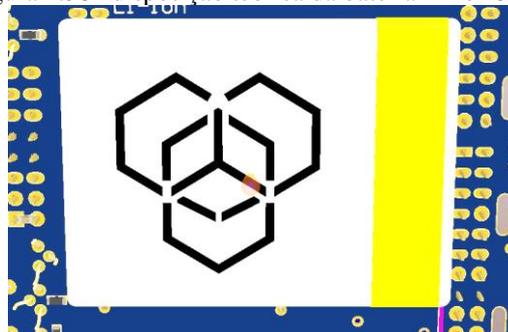
O espaço livre pode ser utilizado para instalar um *pack* de baterias AA (pilha comum), um *pack* de 4 baterias AAA, para ser associado em paralelo com as principais (aumento de autonomia), ou qualquer outra que o desenvolvedor julgar aplicável.

Figura 2.37– disposição de 4 baterias AAA.



FONTE: Próprio autor.

Figura 2.38– disposição teórica da bateria Li-ion 3,7V.



FONTE: Próprio autor.

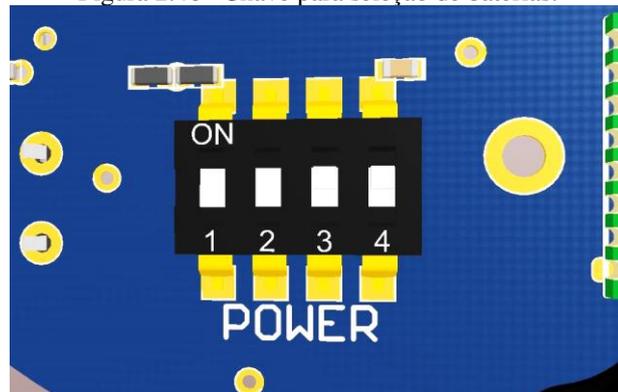
Figura 2.39– Espaço livre para fixação bateria genérica.



FONTE: Próprio autor.

A bateria Li-ion de 3,7V e a bateria genérica podem ser fixadas por abraçadeiras. Não há restrições para a instalação de baterias nos três espaços dedicados. Para que seja possível transferir o sistema de uma bateria para outra, foi acrescentado ao circuito uma chave seletora (Figura 2.40).

Figura 2.40– Chave para seleção de baterias.



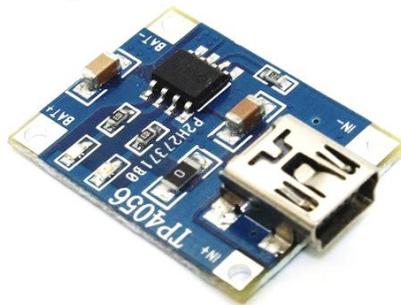
FONTE: Próprio autor.

### 2.9.4 Carregadores

A bateria de Íon-Lítio é recarregável e bastante comum em aplicações eletrônicas móveis. Considerou-se relevante a adição de um circuito capaz de carregar a bateria de forma simples, sem precisar removê-la do circuito.

O módulo TP4056 (Figura 2.41) é um dispositivo capaz de controlar a carga desse tipo de bateria. Basta energizar seus terminais de entrada com tensão entre 4 e 8 V e conectar os terminais da bateria à sua saída.

Figura 2.41– Módulo TP4056.



FONTE: Próprio autor.

O módulo foi incorporado ao projeto e seus pontos de conexão foram levados a dois conectores USB (mini e micro), localizados na periferia da placa do robô, para possibilitar o uso de qualquer carregador USB comum para oferecer carga ao sistema (Figura 2.42).

Figura 2.42– Conectores USB para carga da bateria.



FONTE: Próprio autor.

Também fica previsto, para fins de desenvolvimentos futuros, a possibilidade de conexão de outros tipos de carregadores ao barramento de entrada do TP4056 (via terminal header macho de 2 pinos). O objetivo é motivar a instalação ferramentas como carregador *Wireless* (Figura 2.43) ou célula fotovoltaica. A investigação dos critérios para fazê-lo fica a cargo de futuros desenvolvimentos.

Figura 2.43– Receptor de carregador Wireless.



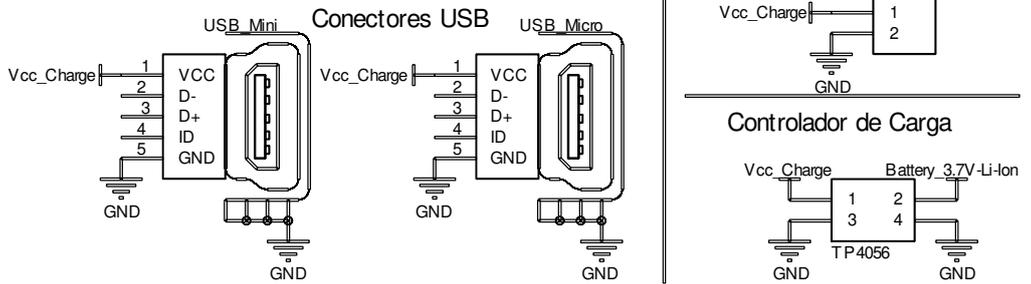
FONTE: Próprio autor.

A Figura 2.44 apresenta o circuito completo dedicado à energização do robô. A chave nº1 do seletor funciona como chave geral. O divisor de tensão localizado na saída da bateria tem por objetivo possibilitar a leitura de seu nível pelo microcontrolador. Isso permite corrigir a razão cíclica do PWM de controle dos motores, bem como prover proteção extra às baterias, para evitar descarga além dos seus valores mínimos.

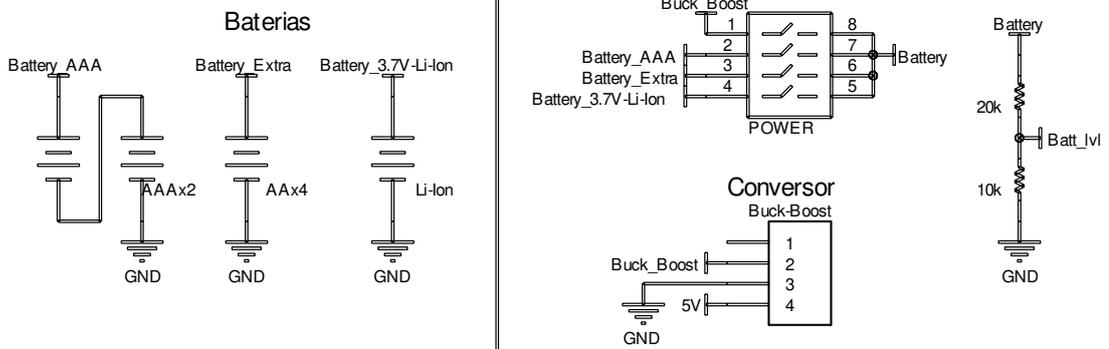
O pino J2\_17 da KL25Z foi alocado para leitura do nível da bateria.

Figura 2.44– Circuito de energização.

Carregador (Charger)



Fontes (Sources)



FONTE: Próprio autor.

### 3 CRITÉRIOS E CÁLCULOS

Nesse tópico estão descritos os critérios gerais para dimensionamento dos componentes discretos, incluindo cálculos, quando estes foram necessários.

#### 3.1 Transistores

Em todos os circuitos em que foram julgados necessários, foram adotados transistores bipolares de junção (TBJ) NPN, e foi escolhido o 2N2222, em encapsulamento TO-18. A escolha dispensou cálculos detalhados de corrente e frequência, pois o TBJ em questão opera com folga, para ambos os casos, em todos os circuitos em que foi incluso. Sua máxima corrente de coletor é de 800 mA.

A escolha desse transistor teve como motivação sua vasta disponibilidade no mercado, seu tamanho compacto, sua robustez e a possibilidade de padronizar o transistor para os diferentes circuitos do projeto.

Na ocasião de montagem do protótipo, qualquer desenvolvedor pode escolher outros TBJ NPN com encapsulamento similar e/ou compatível, desde que possa operar com a corrente do circuito ao qual se destina.

Em todos os casos, o transistor foi utilizado como chave, e não como amplificador linear de corrente, e operam em forte saturação.

#### 3.2 Capacitores

Todos os capacitores presentes nesse projeto são cerâmicos e do tipo Surface-Mount Device (SMD). A função em todos os casos é filtrar ruídos de chaveamento e minimizar picos de tensão gerados por indutâncias parasitas, as quais são provenientes das trilhas de cobre da placa. Foram distribuídos capacitores de 100 nF e 1 uF nas proximidades de cada módulo.

Na ocasião de montagem do protótipo, qualquer desenvolvedor pode escolher outros valores de capacitor, se julgar necessário para adequar o projeto ao seu campo de aplicação.

Na ausência dos capacitores com os valores especificados, pode-se adotar qualquer outro com valor na mesma ordem de grandeza, sem que haja prejuízos significativos.

### 3.3 Resistores

Os resistores seguiram critérios individuais de dimensionamento.

#### 3.3.1 Resistores série com LEDs

Os resistores instalados em série com quaisquer LEDs no circuito, têm por função limitar a corrente que atravessa o diodo, em condução. Em todos os casos, o dimensionamento do resistor seguiu as equações 3.1 e 3.2, para determinar seus valores de resistência e de potência.

$$R_s = \frac{V_{CC} - V_f}{I_f} \quad (3.1)$$

Onde,

$R_s$  é resistência série a ser calculada;

$V_{CC}$  é a tensão elétrica do barramento ao qual o circuito foi ligado;

$V_f$  é a tensão elétrica nominal de condução do LED;

$I_f$  é a corrente elétrica nominal de condução do LED.

Não existindo no mercado o valor calculado, adota-se o de valor imediatamente superior ao calculado.

$$P_{Rs} = (V_{CC} - V_f) \times I_f \quad (3.2)$$

Onde,

$P_{Rs}$  é a potência dissipada pela resistência série;

$V_{CC}$  é a tensão elétrica do barramento ao qual o circuito foi ligado;

$V_f$  é a tensão elétrica nominal de condução do LED;

$I_f$  é a corrente elétrica nominal de condução do LED.

Não existindo no mercado o valor calculado, adota-se o de valor imediatamente superior ao calculado.

### 3.3.2 Resistores de base de transistores

Os resistores instalados nos terminais de base dos transistores têm por função regular a corrente de base. Em todos os casos, os transistores operam como chave (saturação).

Para este fim, foi adotada a corrente de base que garantisse forte saturação do circuito, mesmo em casos em que variações de temperatura e outros fatores possam reduzir a capacidade de ganho do transistor. Isso foi obtido adotando-se uma corrente de base duas vezes superior à corrente de base mínima para saturação.

O dimensionamento do resistor de base seguiu as equações 3.3 e 3.4 para determinar seus valores de resistência e de potência.

$$R_b = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{2 \times (I_{Csat} / \beta)} \quad (3.3)$$

Onde,

- $R_b$  é resistência de base a ser calculada;
- $V_{CC}$  é a tensão elétrica do sinal de base (3,3 V em todos os casos);
- $V_{BE}$  é a tensão elétrica entre base e emissor, em plena condução (~0,7 V);
- $I_{Csat}$  é a corrente elétrica de coletor em plena condução (saturação);
- $\beta$  é o ganho de corrente DC do transistor (documentado como  $h_{FE}$ ).

Não existindo no mercado o valor calculado, adota-se o de valor imediatamente inferior ao calculado.

$$P_{Rb} = (V_{CC} - V_{BE}) \times 2 \times (I_{Csat} / \beta) \quad (3.4)$$

Onde,

- $P_{Rb}$  é a potência dissipada pela resistência de base;
- $V_{CC}$  é a tensão elétrica do sinal de base (3,3 V em todos os casos);
- $V_{BE}$  é a tensão elétrica entre base e emissor, em plena condução (~0,7 V);
- $I_{Csat}$  é a corrente elétrica de coletor em plena condução (saturação);
- $\beta$  é o ganho de corrente DC do transistor (documentado como  $h_{FE}$ ).

Não existindo no mercado o valor calculado, adota-se o de valor imediatamente superior ao calculado.

### **3.3.3 Resistores do divisor de tensão da bateria**

O circuito divisor de tensão da bateria tem por finalidade compatibilizar a tensão da mesma com a máxima tensão de entrada do ADC do microcontrolador. Como a máxima tensão que pode ser lida é de 3,3V e a máxima tensão da bateria aplicável é de 9 V, foi determinado que o circuito deveria dividir a tensão da bateria em um fator de 3, o que tem por solução possível os valores de 10k e 20k apresentados (dispostos conforme esquemático, em anexo). Quaisquer pares de resistores com valores na mesma proporção terão resultado similar, embora a escolha de valores muito baixos resulte em consumo elevado de corrente.

### **3.3.4 Potenciômetro do circuito do sensor de luminosidade**

Em geral, os LDR possuem faixa de operação de 0 a 100 lux. Supondo-se que a curva de resistência x luminosidade seja linear de primeira ordem, um critério simples para definir o resistor série é o ponto médio entre as resistências equivalentes a 0 e 100 lux. Em todo o caso, visto que tais sensores são pouco precisos e que ajustes podem ser necessários à gosto do operador, fica sugerido instalar um potenciômetro variável multi-voltas, com a mesma abrangência de resistência do LDR. Assim, torna-se possível ajustar finamente a resposta do circuito para toda a janela de operação do sensor.

### **3.3.5 Resistores do circuito dos botões**

O resistor associado aos botões tem por finalidade manter a tensão de entrada do microcontrolador em 3,3 V enquanto a chave estiver em aberto. Ao fechar a chave, o valor de tensão deve cair a 0 V. Nesse tipo de aplicação, o resistor recebe o nome de *pull-up*. Se a posição do botão e da chave fossem invertidas, receberia o nome de *pull-down*.

Como o valor de resistência da chave em condução é praticamente nulo, em geral qualquer valor de resistor atende a essa função. Recomenda-se o uso de qualquer um entre 1 k $\Omega$  e 100 k $\Omega$ . foi adotado o valor de 20 k $\Omega$ .

### 3.3.6 Resistores dos receptores IR

Os resistores em série com os receptores infravermelhos não foram dimensionados. Os mesmos são responsáveis por determinar a curva de tensão de resposta do sensor. A luminosidade ambiente, a intensidade luminosa dos LEDs IR e o fabricante do fototransistor são fatores que influenciam na curva de resposta dos sensores. O dimensionamento dos resistores em questão fica para a ocasião de montagem, onde devem ser realizados ensaios com os receptores, sob as condições esperadas de operação, para determinar o valor ideal da resistência. Seu valor deve ser escolhido de forma a oferecer a curva de resposta mais ampla possível, assegurando que o circuito não entre em saturação.

### 3.3.7 Resistores do circuito grampeador do sensor de temperatura

Diferente dos demais sensores, o LM 35 é energizado com tensão superior à do microcontrolador. Para evitar que falhas internas levem a tensão de saída a valores superiores à 3,3 V, torna-se necessário limitar o seu nível, utilizando-se um circuito grampeador.

O circuito em questão utiliza-se de um diodo zener e um resistor (para limitar a corrente de condução do zener). Em geral esse circuito fica inoperante, pois em condições normais, a tensão de condução reversa do diodo (3,3 V) não é atingida. Em caso de falha, qualquer valor de tensão superior a 3,3 V sensibiliza o diodo zener, que mantém o valor de 3,3V na saída do circuito. O resistor série tem por função garantir que a corrente que atravessa o diodo não supere o seu valor limite. Assim:

$$R_z = \frac{V_{m\acute{a}x} - V_z}{I_z / 5} \quad (3.5)$$

Onde,

$R_z$  é a resistência série a ser calculada;

$V_{m\acute{a}x}$  é a máxima tensão elétrica ser grampeada (5 V);

$V_z$  é a tensão elétrica nominal de condução do diodo zener (3,3 V);

$I_z$  é a máxima corrente de condução do reversa do diodo zener;

5 é um fator de segurança, arbitrado.

O valor da resistência deve ser determinado conforme o diodo zener adotado.

Não existindo no mercado o valor calculado, adota-se o de valor imediatamente superior ao calculado.

$$P_{Rs} = (V_{m\acute{a}x} - V_z) \times \left( \frac{I_z}{5} \right) \quad (3.6)$$

Onde,

$P_{Rz}$  é a potência dissipada pela resistência série;

$V_{m\acute{a}x}$  é a máxima tensão elétrica ser grampeada (5 V);

$V_z$  é a tensão elétrica nominal de condução do diodo zener (3,3 V);

$I_z$  é a máxima corrente de condução do reversa do diodo zener;

5 é um fator de segurança, arbitrado.

Não existindo no mercado o valor calculado, adota-se o de valor imediatamente superior ao calculado.

## 4 DESIGN DO PCB

O *design* da placa de circuito impresso (PCB) foi realizado no *software* de desenvolvimento Altium® Designer. Trata-se de um software dedicado a esse tipo de projeto, bastante versátil, sendo bastante difundido e reconhecido na comunidade científica. Outros *softwares*, como EAGLE e Proteus Ares poderiam ter sido utilizados, e resultados similares seriam obtidos.

Todos os componentes presentes no projeto estão suportados na versão 3D do programa, de forma que é possível obter uma visualização prévia de todo o robô, antes de sua confecção, e prever erros de disposição mecânica. Para garantir isso, foi necessário obter, através de pesquisas em comunidades virtuais colaborativas, arquivos individuais com a modelagem 3D de cada componente (eletrônico ou mecânico). Alguns dispositivos não puderam ser obtidos em qualidade ou representação compatível com o projeto e precisaram ser desenhados, com o auxílio do software SolidWorks.

Um projeto desenvolvido no Altium® Designer é subdividido em dois arquivos: Esquemático e PCB. O esquemático tem por função apresentar uma visão funcional do circuito, a partir das simbologias clássicas dos componentes, bem como realizar as ligações teóricas entre os mesmos de forma intuitiva. O PCB tem por função gerar o espaço da placa final, os *footprints* dos componentes, e fornece ferramentas para a distribuição e ligação dos componentes na placa.

A descrição detalhada de cada aspecto do *design*, além de desnecessária, rapidamente tornaria a leitura do documento cansativa. O esquemático do projeto encontra-se no Anexo B, e seus aspectos particulares já foram discutidos, enquanto o PCB e a modelagem 3D terão seus principais e relevantes pontos abordados nos próximos tópicos.

### 4.1 Modelagem 3D

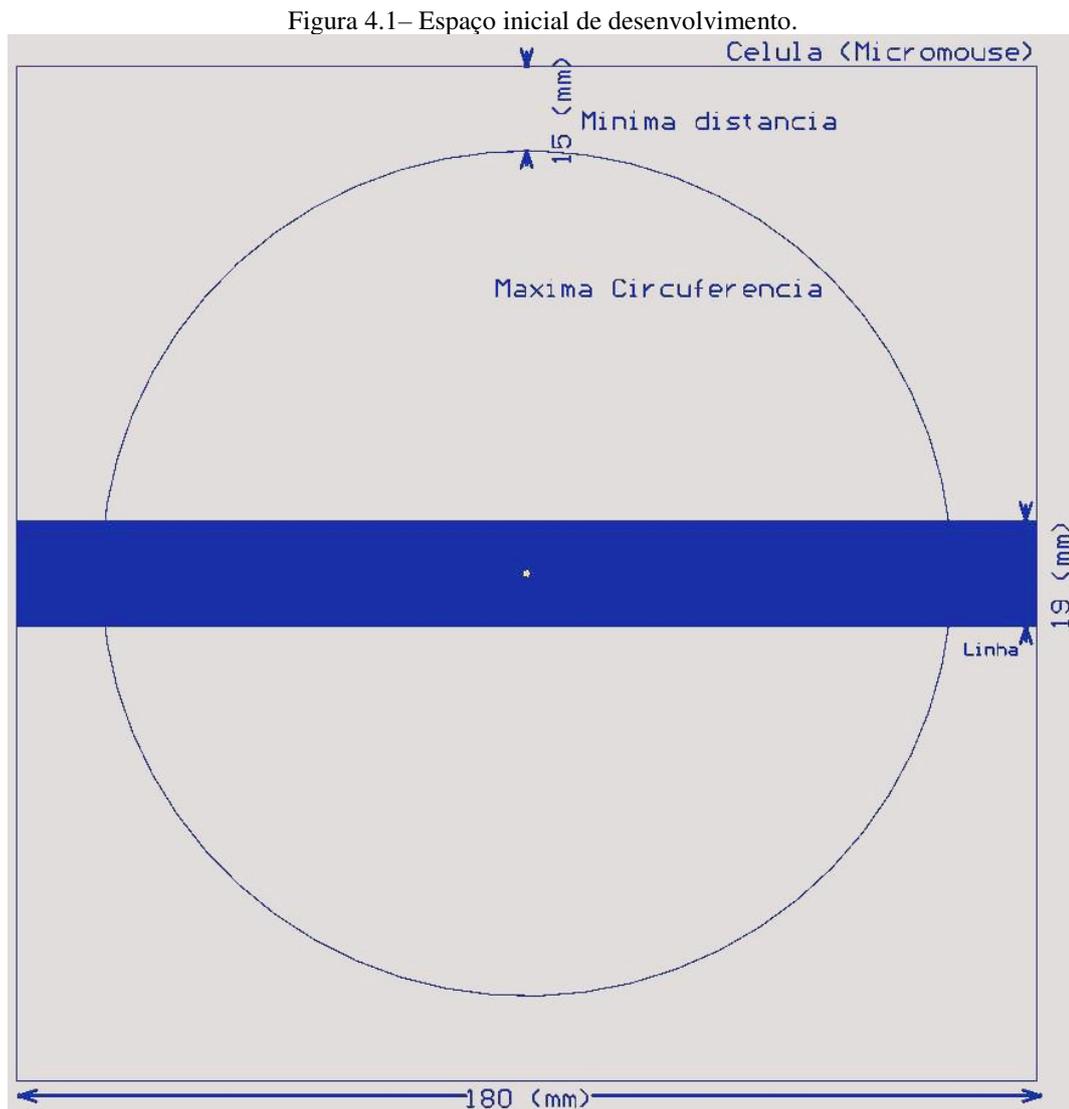
A modelagem 3D tem por objetivo permitir uma visualização prévia dos componentes na placa, possibilitando retificações de *design* por questões de ordem funcional, correção prévia de sobreposição mecânica, ou simplesmente estéticas.

Possuir a capacidade de participar de competições como *micromouse* e seguidor de linha, foram critérios para definir o tamanho apropriado para o robô.

O *micromouse* é uma competição em que o robô deve explorar um labirinto de paredes brancas e células quadradas de 18cm de lado.

Já as competições em que um robô deve realizar um circuito tomando como referência uma linha preta em uma superfície branca, tal linha possui uma espessura de aproximadamente 19 mm.

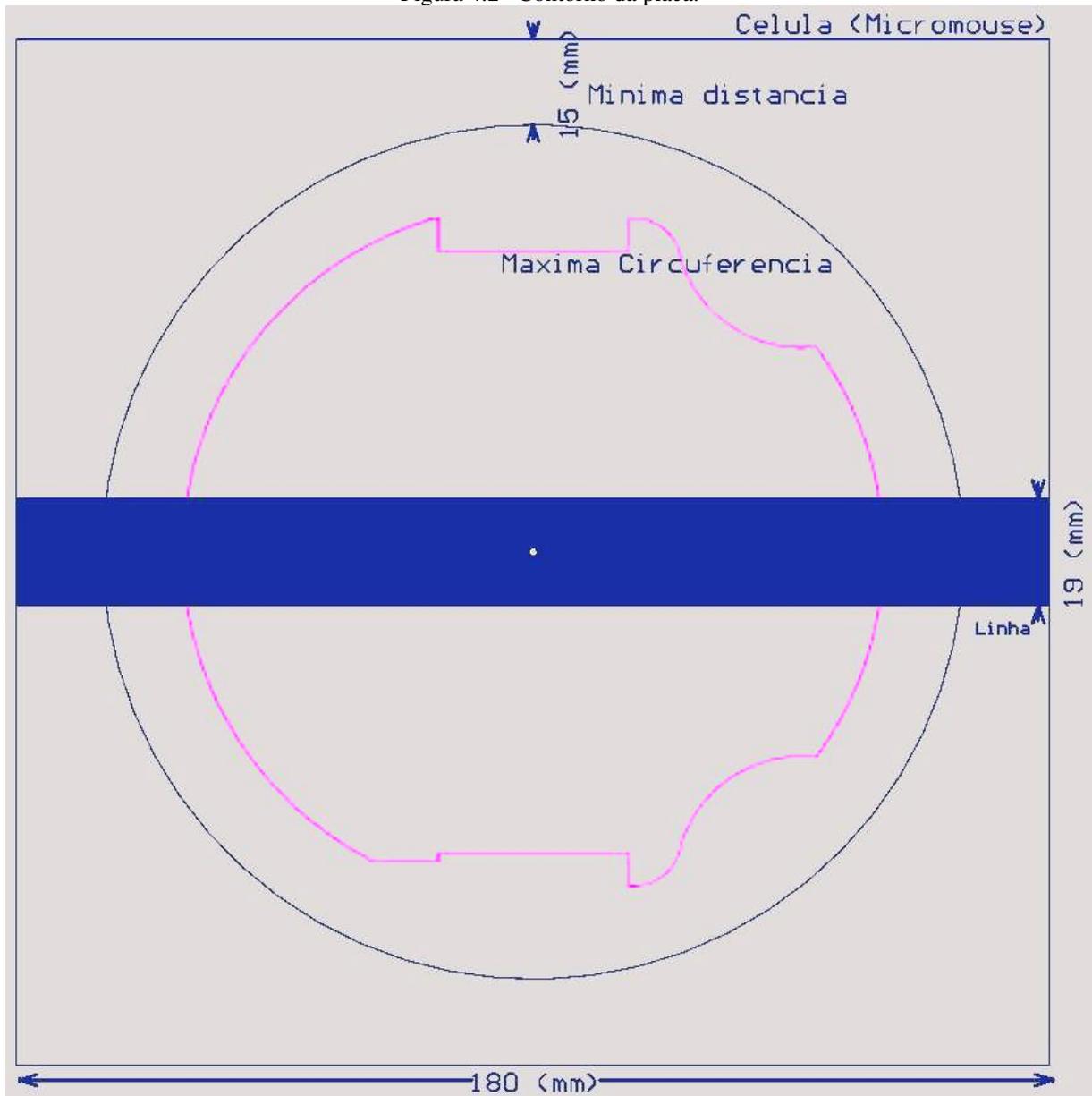
Com essas informações, foi definido o espaço de desenvolvimento (Figura 4.1).



FONTE: Próprio autor.

O robô deveria caber na célula de 18 cm com 1,5 cm de folga, o que definiu a sua máxima circunferência. Após uma análise, verificou-se que seria possível instalar todos os circuitos em um espaço menor, e foi adotado a *design* visto na Figura 4.2 para a placa de circuito impresso (que tem também função de chassi).

Figura 4.2– Contorno da placa.



FONTE: Próprio autor.

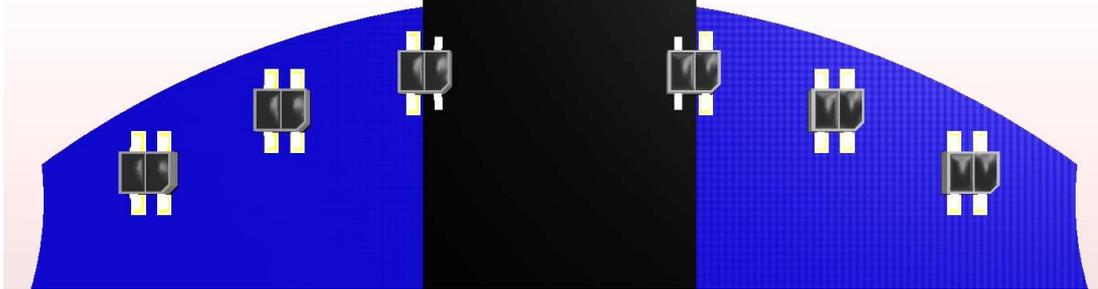
Após a definição do espaço, foi moldada a placa e dispostos os sensores infravermelhos. Estes foram os primeiros elementos dispostos por possuírem critérios de posicionamento mais rígidos do que outros componentes. A disposição dos sensores de linha seguiu os seguintes critérios:

- Dois sensores (mais centrais) deveria se localizar nas extremidades da linha; (foram distanciados de aproximadamente 18,5cm);

- Quadro sensores (dois de cada lado) deveriam ser instalados distanciando-se dos sensores centrais, com uma distância inferior à distância entre os sensores centrais (adotado aproximadamente 10,2 cm);

A Figura 4.3 mostra a disposição em perspectiva 3D dos sensores (vista inferior).

Figura 4.3– Espaçamento dos sensores infravermelhos para detecção de linha (vista inferior em 3D).



FONTE: Próprio autor.

O passo seguinte foi posicionar os sensores IR para detecção de obstáculos. O fator decisivo foi a capacidade de se adaptar a competições como o micromouse e, para isso, foram tomados como referência os principais projetos da categoria. A maioria dos projetos possui 3 pares de sensores (aqui, entenda-se que cada sensor é composto por um emissor e um receptor. Portanto, o termo “par” refere-se a dois emissores e dois receptores):

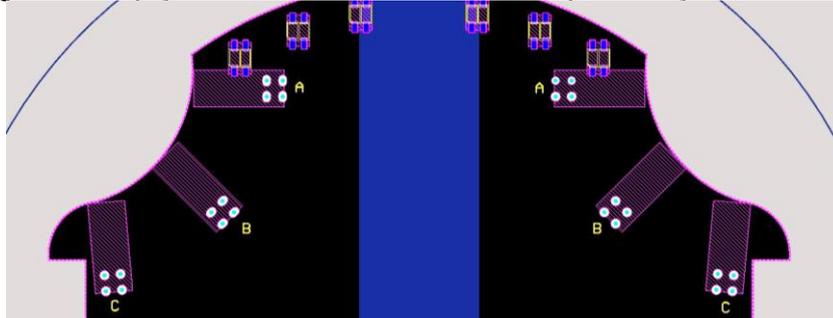
- 1 par lateral, com um sensor ortogonal à cada parede lateral. Em geral são posicionados mais à frente do veículo, e são responsáveis por detectar o momento exato em que há uma descontinuidade (fim da parede) em um dos lados (ou ambos). Também são responsáveis por permitir a correção de centralização no trajeto. Estão indicados na Figura 4.4 com a letra “A”.
- 1 par frontal, com dois sensores ortogonais à parede frontal. O objetivo de ambos é detectar a parede frontal, e determinar sua distância. Após observar a disposição dos sensores em vários competidores, foi observado que há uma leve inclinação desse par. Notou-se que o objetivo é garantir que o alinhamento ortogonal perfeito do sensor com a parede (máxima reflexão) somente seja possível quando o veículo estiver desalinhado, permitindo que o controlador corrija o curso. Como o feixe do emissor geralmente tem a forma cônica superior a 10° de abertura, julgou-se conveniente aplicar uma abertura de 5°, sem prejudicar a capacidade de leitura do sensor em condições normais de alinhamento do veículo. Estão indicados na Figura 4.4 com a letra “C”.

- 1 par intermediário, com ângulo de 45°. Possui a função de antecipar o fim de células e aberturas laterais, a partir de inconsistências previstas nas paredes dos labirintos (características desses casos), bem como auxiliar o desempenho do robô em trechos diagonais. Estão indicados na Figura 4.4 com a letra “B”.

A Figura 4.4 representa a disposição adotada para os sensores, enquanto a Figura 4.5 ilustra a sua visão 3D.

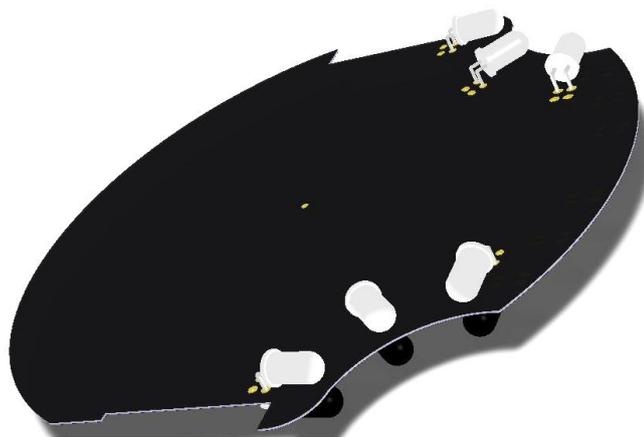
Observe-se que os ângulos podem ser levemente corrigidos após a montagem, visto que as hastes dos LEDs são razoavelmente flexíveis. Quaisquer estudos geométricos ou de ordem prática experimental (ou de qualquer outra natureza) que aprimorem a resposta dos sensores são totalmente encorajados).

Figura 4.4– Espaçamento dos sensores infravermelhos para detecção de obstáculos.



FONTE: Próprio autor.

Figura 4.5– Espaçamento dos sensores infravermelhos para detecção de obstáculos (vista inferior em 3D).



FONTE: Próprio autor.

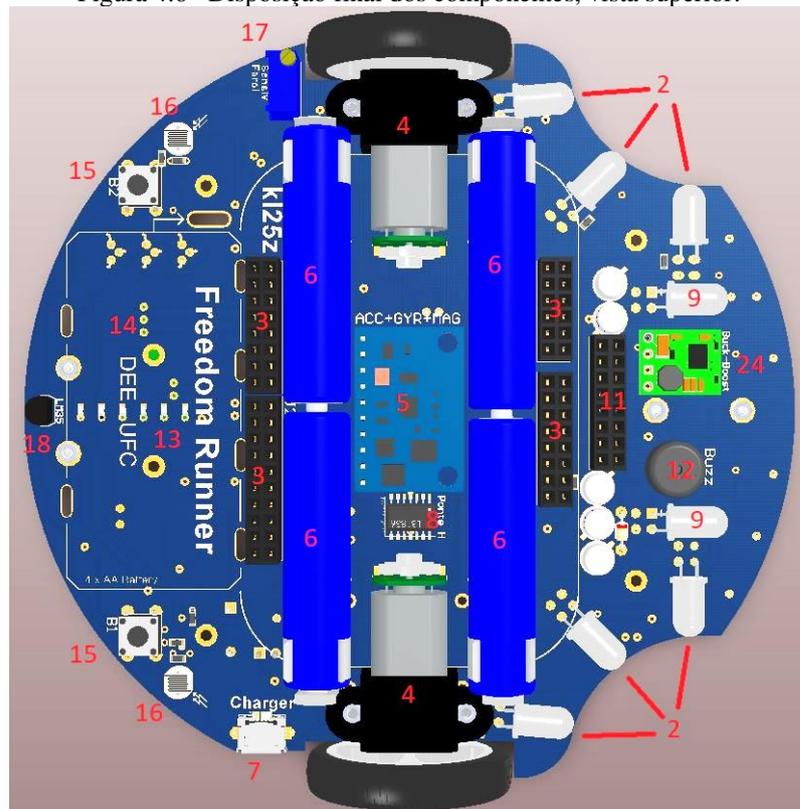
Os demais componentes foram distribuídos conforme seu grau de prioridade em relação disposição. Suas posições foram definidas na seguinte ordem:

- Barramentos de conexão para a KL25Z;
- Motores;
- MPU-9250 (para manter-se localizado próximo ao centro geométrico);
- Baterias AAA;
- Conectores USB;

Os demais componentes foram alocados com a intenção de conciliar a estética com a facilidade de rotear a placa.

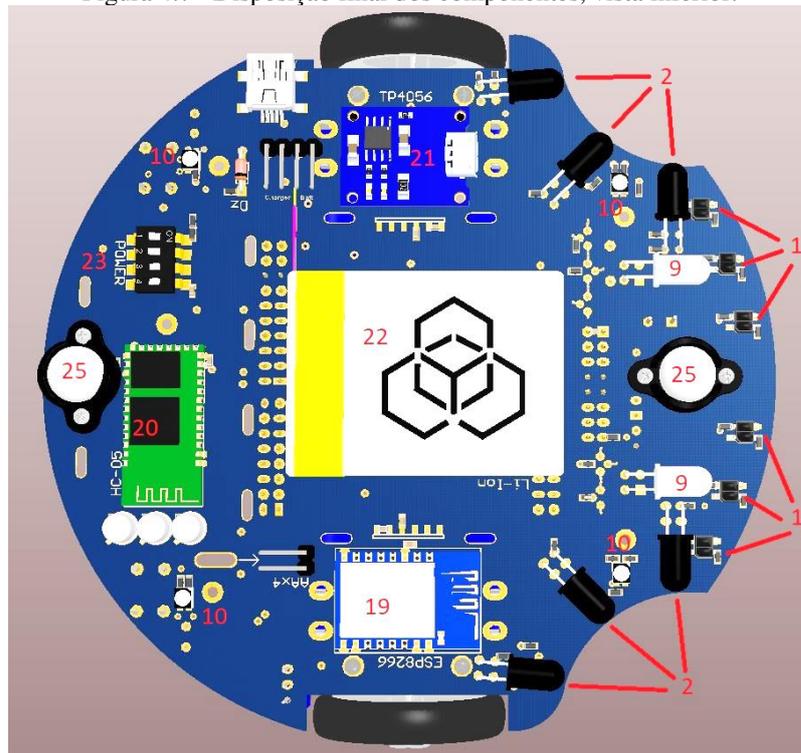
O resultado final foi o observado na Figura 4.6 e na Figura 4.7, enquanto a Tabela 4.1 aponta os componentes conforme sua numeração. Observe-se que, além dos componentes eletrônicos e do kit de propulsão, há também duas “rodas bobas”, que tem por função equilibrar o robô.

Figura 4.6– Disposição final dos componentes, vista superior.



FONTE: Próprio autor.

Figura 4.7– Disposição final dos componentes, vista inferior.



FONTE: Próprio autor.

Tabela 4.1–Principais elementos do robô.

Elementos principais do Robô		
1	Sensores IR de Linha	14 Espaço para bateria extra
2	Sensores IR de obstáculos	15 Botões
3	Barramento de conexão com a KL25Z	16 Sensor LDR
4	Propulsão	17 Ajuste do LDR
5	Módulo MPU-9250	18 LM 35
6	Baterias AAA	19 Módulo Wi-Fi
7	Conectores USB para carga	20 Módulo Bluetooth
8	Ponte H	21 Módulo de carga da bateria
9	Faróis	22 Bateria de Li-ion
10	Luz de Chassi RGB	23 Seletor
11	Conectores para display LCD	24 Conversor Buck-Boost
12	Buzzer	25 Roda Boba
13	Barra de LEDs	

FONTE: Próprio autor.

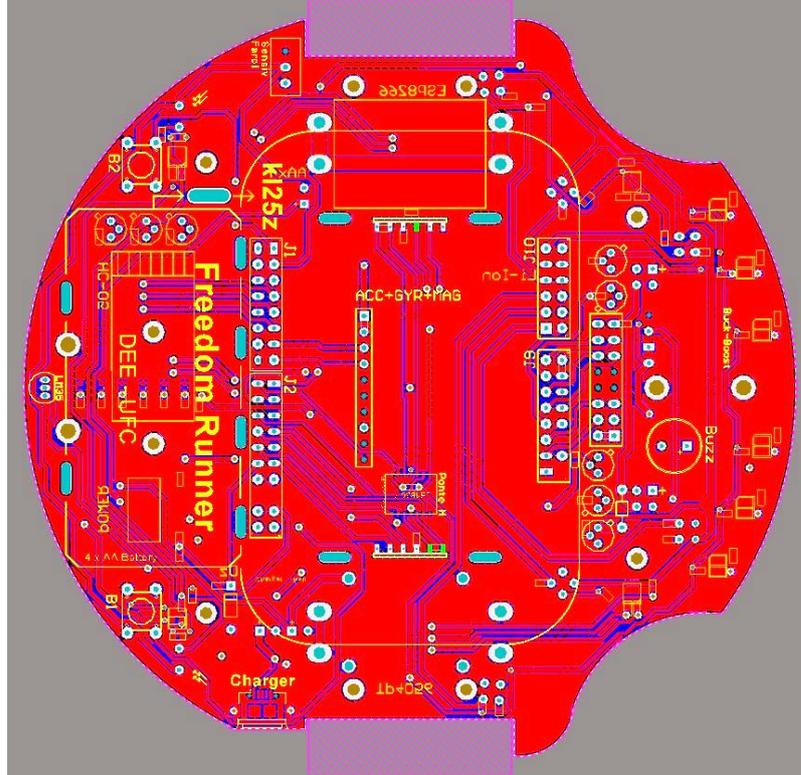
## 4.2 Roteamento

Após a localização de todos os componentes, foi realizada a ligação das trilhas elétricas do PCB. Somente com as ligações desejadas traçadas, uma placa de circuito impresso pode ser confeccionada. Os critérios e regras adotados nessa etapa foram os seguintes:

- Placa em duas camadas. Dada a complexidade do circuito, montar o projeto em uma camada seria inviável.
- Uso de furos metalizados. A confecção desse PCB deve ser realizada por máquina de fresa, seguida pela metalização de furos. Atualmente é um processo razoavelmente acessível, de forma que não foi considerado limitante para atender as motivações iniciais do projeto. O circuito é razoavelmente complexo, e a ausência de furos metalizados tornaria o processo de projeto e de montagem significativamente mais exaustivos. Além disso, projetos de duas camadas em geral não são recomendados para métodos artesanais de confecção.
- Trilhas com espessura mínima de 15 mil (0,381 mm). Esse valor não é recomendado para métodos de impressão artesanais. Como foi previamente definido a necessidade do uso de fresa, não foi um fator conflitante. O uso desse valor permite o roteamento de uma trilha entre dois pinos do circuito.
- Furos a partir de 0,5 mm. Não havendo a disponibilidade do equipamento de confecção para essa espessura, é possível alterar todos para até 0,7 mm sem prejuízos significativos
- Malha de terra em ambas as camadas

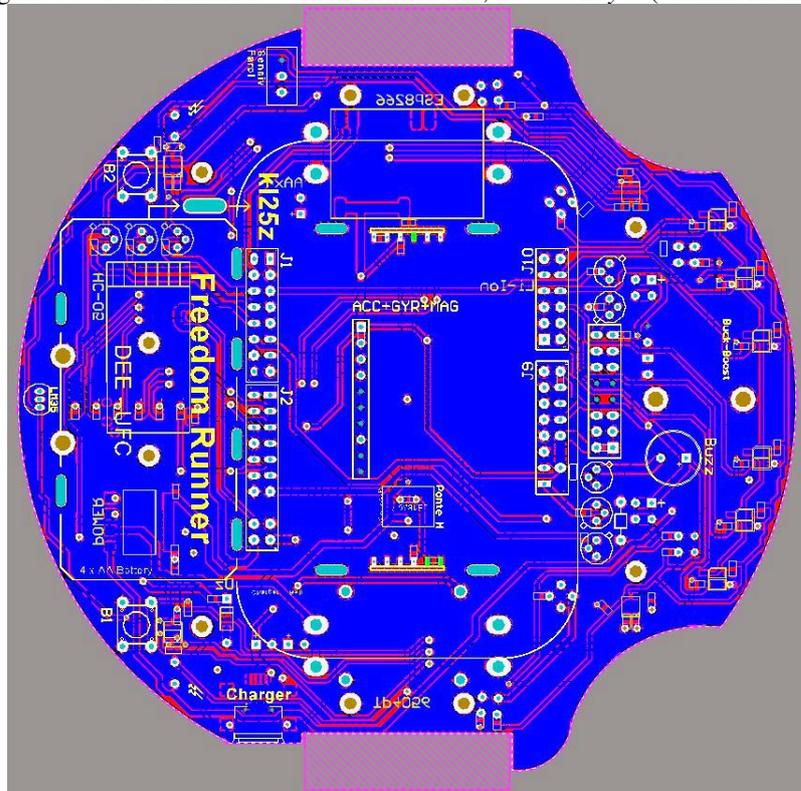
Os demais critérios adotados para o roteamento foram de menor relevância, a caráter de decisões práticas durante a tarefa, e não recebem foco nesse documento. O resultado pode ser observado na Figura 4.8 e na Figura 4.9.

Figura 4.8– PCB finalizado com malha de terra, *Top Layer* (camada superior).



FONTE: Próprio autor.

Figura 4.9– PCB finalizado com malha de terra, *Bottom Layer* (camada inferior).



FONTE: Próprio autor.

## 5 MARGEM PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Após o apresentado, fica claro que há uma versão de um robô móvel de pequeno porte projetada e apta para montagem e desenvolvimento. Os tópicos a seguir apontam de forma superficial possíveis linhas de abordagem para desenvolvimentos futuros, bem como possíveis ideias de aprimoramento e/ou expansão, os quais se sugere que sejam tomados como base, mas que os futuros desenvolvedores não se atenham aos mesmos, buscando utilizar a ferramenta da forma mais abrangente que lhes convir.

### 5.1 Desenvolvimentos futuros com base no resultado desse projeto

- Desenvolvimento de rotinas leitura de temperatura;
- Desenvolvimento de rotinas leitura de luminosidade;
- Desenvolvimento de rotinas para escrita em LCD;
- Desenvolvimento de rotinas para comunicação *Bluetooth*;
- Desenvolvimento de rotinas para comunicação *Wi-Fi*;
- Desenvolvimento de rotinas para controle de brilho de LEDs por PWM;
- Desenvolvimento de *firmware* para controle em malha fechada utilizando os *encoders*;
- Desenvolvimento de *firmware* para controle em malha fechada utilizando os sensores IR detectores de linha;
- Desenvolvimento de *firmware* para controle em malha fechada utilizando os sensores IR detectores de obstáculos;
- Desenvolvimento de *firmware* para controle em malha fechada utilizando os sensores acelerômetro, giroscópio e magnetômetro;
- Desenvolvimento de algoritmos de fusão sensorial;
- Desenvolvimento de *firmware* para competições de robô seguidor de linha;
- Desenvolvimento de *firmware* para competições *micromouse*;
- Desenvolvimento de aplicativos para computador e *smartphone* para controle e interfaceamento em tempo real;
- Estudos de consumo e eficiência de baterias.

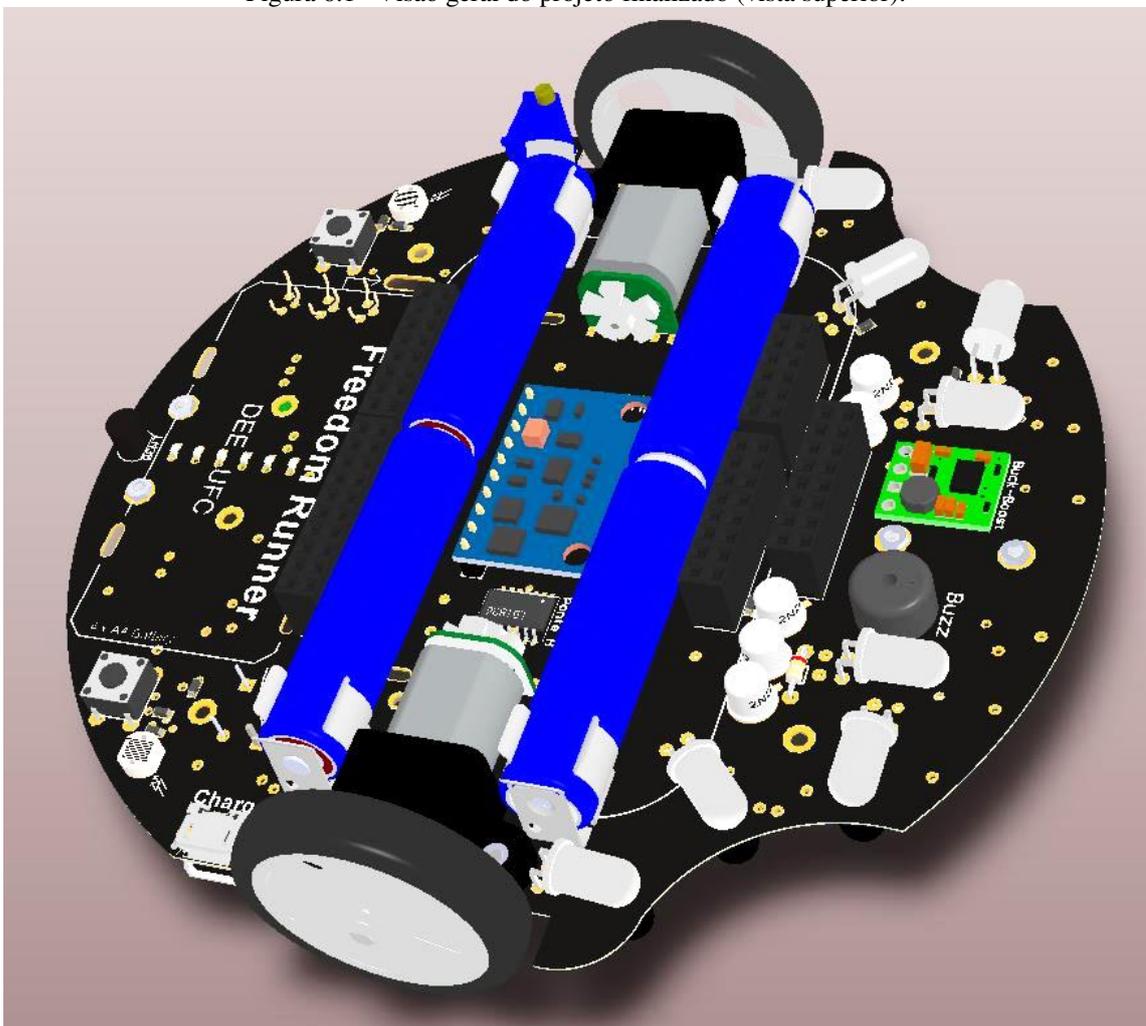
## 5.2 Possíveis aprimoramentos e expansões

- Desenvolvimento de uma placa de expansão (utilizando os conectores do display LCD);
- Desenvolvimento de um circuito próprio incorporado à placa, para regulação de tensão, controle de carga e descarga da bateria, integrado ao microcontrolador;
- Acrescentar saída de voz (Speaker);

## 6 RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

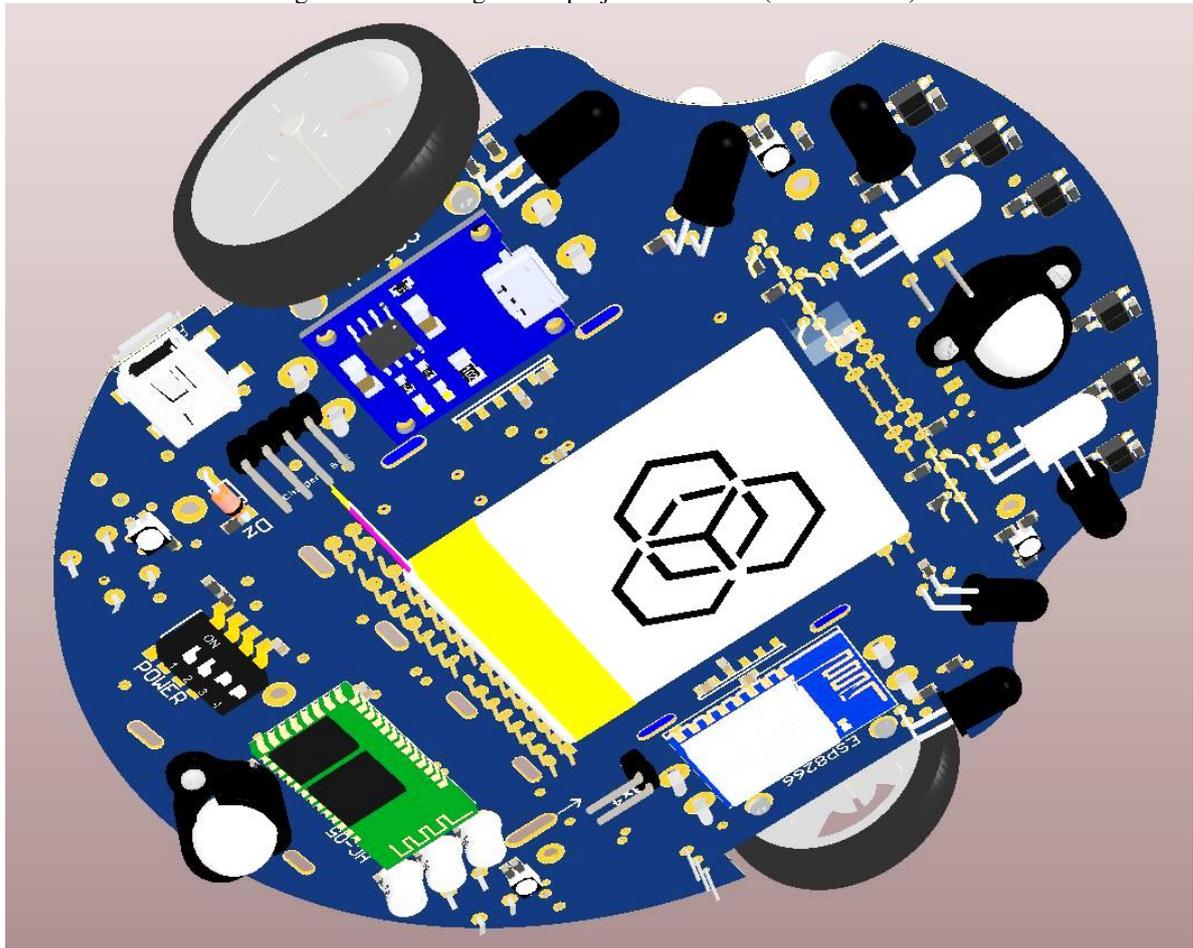
Como resultado, foi obtido o projeto de hardware atendendo as motivações e requisitos iniciais. A Figura 6.1 e a Figura 6.2 apresentam uma visão final do projeto. Fica para a ocasião de montagem a decisão de quais módulos e blocos funcionais instalar, visto que boa parte tem uso opcional de acordo com a aplicação.

Figura 6.1– Visão geral do projeto finalizado (vista superior).



FONTE: Próprio autor.

Figura 6.2– Visão geral do projeto finalizado (vista inferior).



FONTE: Próprio autor.

## CONCLUSÃO

Após a realização desse trabalho, verifica-se que é possível desenvolver uma ferramenta didática com razoável abrangência no campo de estudo da robótica móvel. Também fica claro que a temática básica de robótica é capaz de se associar com diversos temas distintos, produzindo uma experiência científica enriquecedora.

O robô proposto foi desenvolvido com base nos requisitos críticos e não-críticos, tendo sido todos satisfeitos. A autonomia energética do sistema foi garantida com a inclusão de diferentes tipos de baterias. É possível energizar o sistema com baterias AAA, AA ou *Li-Ion* – todas comuns no mercado – esta última inclusive podendo ser carregada no próprio robô de diferentes formas.

Já a comunicação *wireless* fica garantida pela presença de módulos *Bluetooth* e *Wi-fi*, que por si só viabilizam o uso de interfaces remotas, através de *smartphones*, computadores, e equipamentos semelhantes. O sistema prevê diferentes formas de monitorar o ambiente ao seu redor, incluindo sensores que auxiliam sua navegação e controle em malha fechada.

O robô também fica qualificado para ser posto à prova em competições de robótica, como *micromouse* e robô seguidor de linha, por possuir sensores em configurações compatíveis com os requisitos e especificações das mesmas. Também surge a possibilidade de estudo e desenvolvimento de técnicas nos campos de fusão sensorial, elaboração de trajetos, inteligência computacional, eletrônica de potência, sistemas operacionais em tempo real e aplicativos para smartphone.

Espera-se que este trabalho possa servir de base para desenvolvimentos científicos e que seja aprimorado ao longo dos estudos.

## REFERÊNCIAS

VASSEUR, J. P.; DUNKELS, A. Interconnecting Smart Objects with IP. Burlington: Morgan Kaufmann, 2010.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, Charles,; UMANS, Stephen D. Electric machinery. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

NXP. <https://www.nxp.com/>. Acesso em: 02 dez. 2018.

GrabCAD Community. <https://grabcad.com>. Acesso em: 02 dez. 2018.

Dassault Systems. <http://www.3dcontentcentral.com>. Acesso em: 02 dez. 2018.

Micromouse USA Fans Site. <http://micromouseusa.com>. Acesso em: 02 dez. 2018.

Pololu Robotics & Eletronics. <https://www.pololu.com/>. Acesso em: 02 dez. 2018.

Farnell Newark. <https://www.newark.com>. Acesso em: 02 dez. 2018.

Deal Extreme. <https://dx.com>. Acesso em: 02 dez. 2018.

ON Semiconductor. Datasheet. LB1836M. 2013. Disponível em: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/542371/ONSEMI/LB1836M.html>. Acesso em: 02 dez. 2018.

ON Semiconductor. Datasheet. QRE1113. 2018. Disponível em: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/QRE1113-D.PDF>. Acesso em: 02 dez. 2018.

Edital. APEC Micromouse Contest. 2017. Disponível em: <https://www.apec-conf.org/Portals/0/APEC%202018/APEC%202018%20Micromouse%20Competition%20Rules.pdf?ver=2017-12-13-093819-430>. Acesso em: 02 dez. 2018.

Edital. Dtec. 2017. Disponível em: <https://onedrive.live.com/?cid=329fccc072c2c2f1&id=329FCCC072C2C2F1%217949&ithint=file.pdf&authkey=!AFNzmeojoXW9td8>. Acesso em: 02 dez. 2018.

## ANEXO A

Tabela A.1–Lista de componentes.

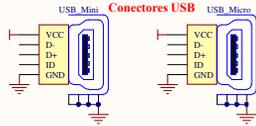
Lista de componentes	
Quantidade	Descrição
2	Motor <i>dual shaft</i> LP 30:1 6V
1	Par de <i>encoders</i>
1	Par de rodas
1	Par de <i>bracket</i> preto (presilha para motor)
2	<i>Ball caster</i> (roda boba)
1	<i>Buck-Boost</i> 5V 500 mA a 1 A
1	Ponte H SMD LB1836M
8	TBJ NPN 2n2222
4	LED RGB SMD
1	LM35
6	Mini sensor IR QRE1113 SMD
6	IR LED 5mm
6	IR fototransistor 5mm
2	Barra <i>header</i> fêmea 2 x 20
1	<i>Buzzer</i>
6	LED SMD branco 5mm
4	LED branco de alto brilho 5mm
1	Conector mini USB
1	Conector micro USB
2	<i>Push Button</i>
2	LDR
1	Potenciômetro multivoltas
1	Módulo <i>Bluetooth</i> HC-05
1	Módulo <i>Wi-Fi</i> ESP 8266
1	Módulo MPU-9250
1	Módulo TP4056
1	Diodo Zener 3,3V
1	DIP <i>Switch</i> 4 canais
8	Capacitor cerâmico SMD 100 nF
3	Capacitor cerâmico SMD 1 uF
-	Resistores diversos

FONTE: Próprio autor.

# ANEXO B

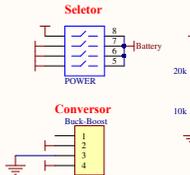
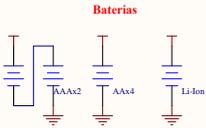
## Alimentação (Power Supply)

### Carregador (Charger)



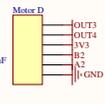
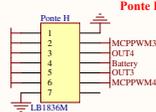
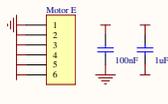
Circuito de carga de bateria. Dedicado APENAS à bateria de 3.7V Li-Ion.  
 Entrada: Mini-USB, Micro-USB e Header 2x1 Macho 90°  
 Tensão de entrada: 4 a 8V  
 \* O referido TP4056 trata-se do módulo, e não do circuito integrado (que compõe o módulo e dá nome ao mesmo).  
 \*\*\* A corrente de carga da bateria deve ser ajustada a partir da substituição de resistor presente no módulo, conforme orientação do fabricante ou do documento ao qual esse esquemático está anexado.

### Fontes (Sources)



O projeto prevê a possibilidade de conexão de baterias em 3 diferentes pontos.  
 - 4x Pilha AAA (palto)  
 - 1x Bateria Li-ion 3.7V  
 - Fonte qualquer, entre 3V e 9V  
 Possui chaves para seleção da fonte (DIP Switch)  
 Possui conversor de topologia Buck-Boost, para regular a tensão da fonte escolhida para 5V  
 \* A regulação da malha de 3.3V é realizada na placa ki25z. A mesma é energizada pelo barramento de 5V de saída do conversor Buck-Boost.  
 \*\* O circuito divisor de tensão tem por objetivo permitir que o microcontrolador possa monitorar a tensão da bateria, tanto para fins de controle de descarga, como para ajustes na malha de controle dos motores.

## Propulsão (Propulsion)



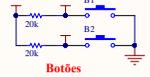
Os motores possuem caixa de redução embutida e placa auxiliar (soldável)  
 A placa auxiliar facilita a energização do motor e permite a leitura da posição do eixo de maior velocidade, a partir de um encoder de dois canais (A e B) defasados.

Com base na leitura dos sinais A e B do encoder, é possível determinar a posição, a variação da posição em relação ao tempo (velocidade angular), e o sentido de rotação. Conhecendo a relação de redução do motor adotado, é possível determinar a velocidade angular da roda (eixo de baixa velocidade) a partir da seguinte equação:  
 $W2 = W1/N$ , Onde:  
 - W1 é a velocidade angular no eixo de alta rotação (leitura do encoder);  
 - W2 é a velocidade angular no eixo de baixa rotação (roda);  
 - N é a relação de transformação de velocidade da caixa de redução (N>1).

O controle de velocidade e direção dos motores podem ser realizados a partir de sinais PWM (2 PWM por motor).

## Interface

### Input

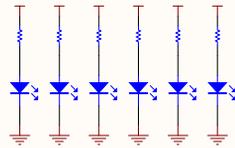


### Botões

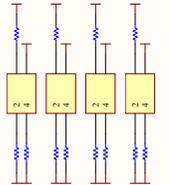
A interface de entrada principal é composta por dois botões. A ki25z possui também um slide touch, de forma que dois botões são apenas uma forma de ampliar a capacidade de comandos de entrada.

### Output

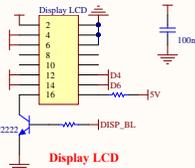
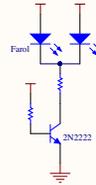
#### Linha de LEDs



#### Luz de Chassi



#### Faróis



### Linha de LEDs

6 LEDs SMD para uso geral, podem ser utilizados para indicar o nível da bateria, assinalar o modo de operação do código, ou funcionar como um display de ar.

### Luz de Chassi

4 LEDs SMD RGB para uso geral. Apenas estético, podendo também ser utilizados para indicar o nível da bateria, assinalar o modo de operação do código, representação de cor da temperatura ambiente.

### Farol

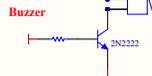
2 Pares de LEDs frontais. Níveis de intensidade ajustáveis por PWM. Podem servir de interface, mas ter por principal função iluminar o caminho à frente do robô. Sugerido operar em acordo com a leitura de luminosidade ambiente.

### Display LCD

Display LCD 8x2, 4 Bits de barramento. Prevê possibilidade de Backlight (acionado por Transistor).

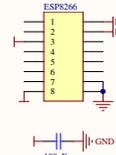
### Buzzer

Emissor de sinal sonoro, conforme frequência aplicada

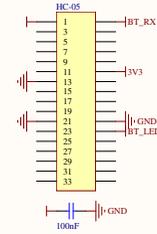


## Comunicação sem Fio (Wireless COM)

### Wi-Fi



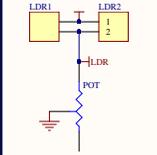
### Bluetooth



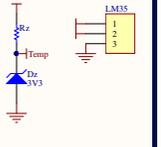
A projeto oferece suporte para comunicação sem fio (Opcional)  
 Basta soldar os módulos referidos (ESP 8266 ou HC-05).  
 - O módulo ESP 8266 é um módulo dedicado à comunicação Wi-Fi  
 - O módulo HC-05 é um módulo dedicado à comunicação bluetooth  
 \* Antes de instalar qualquer módulo, deve-se conferir se os mesmos operam em 3.3V (padrão)

## Outros Sensores

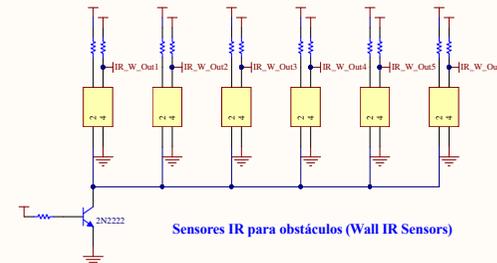
### Sensor de luminosidade



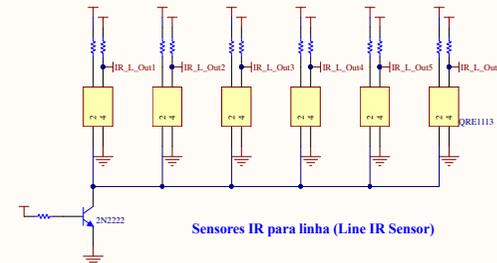
### Sensor de temperatura



## Navegação (Navigating)



### Sensores IR para obstáculos (Wall IR Sensors)

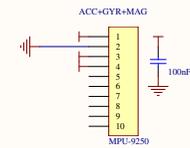


### Sensores IR para linha (Line IR Sensor)

Conjuntos de sensores infravermelhos (par emissor / receptor)  
 Todos os sensores são analógicos.

Pino 1: Anodo do emissor IR  
 Pino 2: Catodo do emissor IR  
 Pino 3: Coletor do receptor IR  
 Pino 4: Emissor do receptor IR

### Orientação



MPU-9250 é um módulo misto integrado por:

- Acelerômetro (3-eixos)
- Magnetômetro (bússola) (3-eixos)
- Giroscópio (3-eixos)

- Permite a orientação do robô de forma ampla.  
 - Comunicação I2C unificada.

\* Antes de instalar o módulo, deve-se conferir se o mesmo opera em 3.3V (padrão)

## Processamento

### ki25z

#### Conectores (Connectors)

