

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**



MATHEUS GOZZI RENOLDI SIQUEIRA COSTA

**VEMAGIC: PROJETO DE UM KIT EDUCACIONAL
DE UM AUTORAMA MAGNÉTICO**

VITÓRIA – ES
01/2018

MATHEUS GOZZI RENOLDI SIQUEIRA COSTA

VEMAGIC: PROJETO DE UM KIT EDUCACIONAL DE UM AUTORAMA MAGNÉTICO

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno Matheus Gozzi Renoldi Siqueira Costa, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Vieira Segatto
Orientador

MATHEUS GOZZI RENOLDI SIQUEIRA COSTA

**VEMAGIC: PROJETO DE UM KIT EDUCACIONAL
DE UM AUTORAMA MAGNÉTICO**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação do aluno **Matheus Gozzi Renoldi Siqueira Costa**, apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Aprovada em __/__/__

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo Eduardo Vieira Segatto
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Orientador

Prof. Dr. Jorge Leonid Aching Samatelo
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinador

Prof. Dr. Walbermark Marques dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Examinador

RESUMO

A utilização de protótipos didáticos como atividade complementar ao ensino vem a contribuir de forma positiva nos diversos campos da engenharia. Compreender as aplicações, promover o desenvolvimento e auxiliar o aprendizado dos conceitos, por vezes realizado fora das salas de aula, se torna benéfico tanto para docentes e discentes. Com essas diretrizes, esse trabalho apresenta um projeto básico e executivo do desenvolvimento de um Autorama Magnético em formato de Kit Educacional. Apoiado no princípio de motores lineares, esse autorama é formado por pistas modulares que, uma vez energizada, induz o veículo por magnetismo a realizar o movimento. Tem como proposta interagir de forma lúdica com estudantes das áreas das ciências e tecnologias, afim de instigar sua curiosidade e estimular o interesse deste e projetos similares. Tem como princípio ser livre e de código aberto, ser de simples instalação, montagem e manuseio e, ser um facilitador para o aprendizado dos conceitos físicos envolvidos.

Palavras-chaves: Autorama Magnético, Veículo Magnético Movido por Indução Controlada, Protótipo de Motor Linear, Kit Educacional.

ABSTRACT

The use of didactic prototypes as an activity complementary to teaching comes to contribute positively in the several fields of engineering. Understand the applications, promote the development and assist the learning of concepts, sometimes performed outside the classroom, becomes beneficial for both teachers and students. With these guidelines, this work presents a basic and executive project for the development of a Magnetic Slot Car in the Educational Kit format. Based on the principle of linear motors, this slot car geometry is formed by modular tracks that once energized, induces the vehicle by magnetism to perform the movement. Aims to interact in a playful way with students in the areas of science and technology, in order to instigate their curiosity and stimulate the interest of this and similar projects. Has as a principle to be free and open source software, be simple installation, assembly and handling, and be a facilitator for the learning of physical concepts involved.

Keywords: Magnetic slot car, Magnetic Vehicle Propelled by Inducing Controlled, Prototype of Linear Motor, Educational Kit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bancada de 7 bobinas do protótipo do motor linear	16
Figura 2 - Bobina projetada para o Kit	17
Figura 3 – Comparativo do Enrolador Linear de Bobinas, antes e depois.	17
Figura 4 – Resultado da obtenção do motor linear através de um motor rotativo.....	20
Figura 5 – movimento do rotor em um motor de passo convencional	20
Figura 6 – Movimento do secundário em um motor de passo linear	21
Figura 7 – Classificação dos motores lineares.....	21
Figura 8 – Primeiro trecho de operação.....	22
Figura 9 – Segundo trecho de operação.....	22
Figura 10 – Mapa geral do projeto básico.	24
Figura 11 – Representação do veículo e sensor de posição no módulo de pista	25
Figura 12 – Etapas do movimento do veículo sob um Módulo de Pista	26
Figura 13– Projeto da pista modular do Vemagic.	27
Figura 14 – Diagrama do circuito eletrônico e magnético	29
Figura 15– Fluxograma de funcionamento do Vemagic.	30
Figura 16 – Ilustração do Veículo Magnético	32
Figura 17 – Vista superior do veículo magnético.....	33
Figura 18 – Ângulos do Módulo Curvo e Veículo Magnético	33
Figura 19 – Vista explodida do veículo.....	34
Figura 20 – Vista inferior do veículo.....	34

Figura 21 – Modelagem mecânica do Módulo Filho.....	35
Figura 22 – Decomposição das partes da Estrutura de Acrílico.....	36
Figura 23 – Visão frontal do veículo sobre o módulo de pista.....	37
Figura 24 – Módulo do sensor Hall.	38
Figura 25 – Guia de inserção e remoção do sensor na parede de acrílico.	38
Figura 26 – Composição do Circuito Magnético do Módulo Filho.....	39
Figura 27 – Modelo tridimensional da Placa Principal	40
Figura 28 – Diagrama do circuito esquemático da Placa Principal.	41
Figura 29 – Vista <i>top</i> e <i>bottom</i> , respectivamente, das trilhas da Placa Principal.	42
Figura 30 – Vista <i>top</i> e <i>bottom</i> , respectivamente, do modelo 3D da Placa Principal.....	42
Figura 31 – Visão geral do modelo 3D do Módulo Filho.....	43
Figura 32 – Imagem real do Veículo Magnético	44
Figura 33 – Placa Principal do Módulo Filho vazia e montada, respectivamente.....	44
Figura 34 – Imagem real do Módulo Filho.....	45
Figura 35 – Montagem dos Módulos de Pista com o Veículo.....	46
Figura 36 – Desenho técnico do Veículo Magnético.....	51
Figura 37 – Desenho vetorial das peças com 3mm de espessura na cor preta	52
Figura 38 – Desenho vetorial da peça com 5mm de espessura na cor transparente	52
Figura 39 – Desenho vetorial das peças com 3mm de espessura na cor transparente.....	53
Figura 40 – Desenho técnico do módulo do sensor de posição.....	54
Figura 41 – Desenho técnico do Circuito Magnético do Módulo Filho	55

Figura 42 – Circuito Esquemático da Placa Principal – parte 1	56
Figura 43 – Circuito Esquemático da Placa Principal – parte 2	56
Figura 44 – Circuito Esquemático da Placa Principal – parte 3	57
Figura 45 – Circuito Esquemático da Placa Principal – parte 4	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Lista de Materiais do Veículo.....	51
Quadro 2 – Informações técnicas do sensor de efeito Hall.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos Módulos por Característica Mecânica e Lógica.....	28
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AWG	American Wire Gauge (Escala Americana de Bitolas de Fios)
CAD	Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
CI	Circuito Integrado
CNC	Controle Numérico Computadorizado
CPID	Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento
FTDI	Future Technology Devices International
I2C	Inter-Integrated Circuit
IC	Iniciação Científica
LED	Light Emitting Diode (Diodo Emissor de Luz)
MLI	Motor Linear de Indução
MLS	Motor Linear Síncrono
PC	Personal Computer (Computador Pessoal)
PCB	Printed Circuit Board (ou Placa de Circuito Impresso)
PG	Projeto de Graduação
RGB	Red, Green and Blue (Vermelho, Verde e Azul)
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
USB	Universal Serial Bus
VEMAGIC	Veículo Magnético movido por Indução Controlada

LISTA DE SIMBOLOS

α	ângulo de abertura entre duas bobinas a partir do raio do Módulo Curvo
β	ângulo de rotação realizado pelo Módulo Curvo
θ	ângulo de abertura de cada eixo do veículo.
μC	Microcontrolador
A	Unidade de medida de corrente elétrica (ampere)
Ω	Unidade de medida de resistência elétrica (ohms)
V	Unidade de medida de tensão elétrica (volts)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Origem do Projeto	15
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivo Geral.....	18
1.3.2	Objetivos Específicos	18
1.4	Estrutura do Trabalho	19
2	PRINCÍPIOS DE UM MOTOR LINEAR.....	20
3	PROJETO BÁSICO.....	23
3.1	Veículo e Sensor de Posição	25
3.2	Pista modular.....	27
3.2.1	Endereçamento da rede	27
3.2.2	Módulo de pista	28
3.3	Fluxograma do Projeto	30
4	PROJETO EXECUTIVO.....	32
4.1	O Veículo	32
4.2	O Módulo Filho	35
4.2.1	Estrutura de Acrílico.....	35
4.2.2	Sensor de Posição	37
4.2.3	Circuito Magnético	39

4.2.4	Placa Principal	40
4.3	Confecção e Montagem	43
5	CONCLUSÃO	47
	APÊNDICE A – VEÍCULO MAGNÉTICO	51
	APÊNDICE B – ESTRUTURA DO MÓDULO FILHO	52
	APÊNDICE C – MÓDULO DO SENSOR DE POSIÇÃO	54
	APÊNDICE D – CIRCUITO MAGNÉTICO	55
	APÊNDICE E – CIRCUITO ESQUEMÁTICO DA PLACA PRINCIPAL	56

1 INTRODUÇÃO

1.1 Origem do Projeto

A construção de modelos físicos para experimentos é uma eficiente atividade didática em cursos de engenharia, uma vez que integra esforços intelectuais e técnicos dos alunos envolvidos (MILHOMEN, 2009). Esta prática também tem sido desenvolvida na Universidade Federal do Espírito Santo no curso de engenharia Elétrica por alunos de graduação onde obtiveram resultados significativos ao construir um protótipo de um Motor Linear, (SPINASSÉ, 2010), (PONTES, 2011) e (LEITE, 2012).

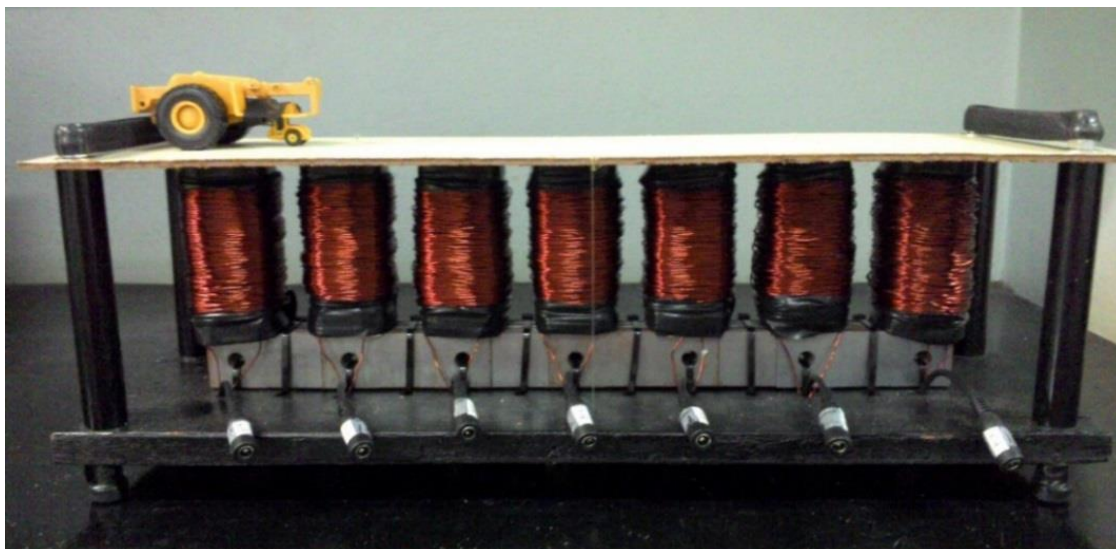
A escolha do tema deste projeto de graduação teve início na disciplina de Eletromagnetismo 2, ministrada no Curso de Engenharia Elétrica da UFES, cursada pelo autor desse projeto. Naquela época, com o objetivo de compreender e melhorar o funcionamento de um motor linear, foi sugerido ao grupo a montagem de um modelo físico (protótipo) de motor linear de passo como projeto final da disciplina (COSTA, 2013). Esse projeto se baseou em um protótipo de motor linear iniciado por grupos anteriores (PONTES, 2011) e (LEITE, 2012).

No trabalho de (COSTA, 2013), foram analisados os problemas envolvidos na interação magnética entre o primário e secundário de um motor linear, realizada melhorias mecânicas na estrutura da bancada e modernização da eletrônica de acionamento das bobinas. Como característica construtiva, esse protótipo continha:

- Uma bancada contendo 7 bobinas retangulares, imersas em núcleo formado por chapas de aço silício;
- Um veículo contendo um par de ímãs de neodímio;
- Um microcontrolador PIC16F268A, para controle do tempo de acionamento das bobinas;
- Circuitos integrados de Ponte H, como drivers de corrente (substituto aos relés, existentes nos protótipos anteriores).

Na Figura 1 é possível observar o modelo final dessa bancada e veículo magnético.

Figura 1 – Bancada de 7 bobinas do protótipo do motor linear



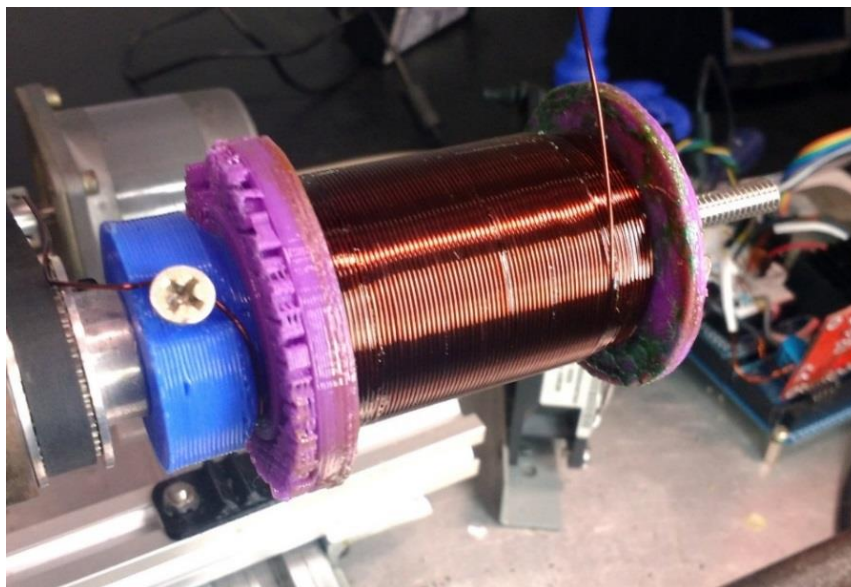
Fonte: COSTA, 2013.

Após o término da disciplina, o então Professor propôs como Iniciação Científica um piloto apoiado no protótipo do motor linear para ser desenvolvido com viés didático e, se possível, comercial. A nova versão do protótipo se transformou em um kit, educacional e modular, de um veículo magnético, e é o objeto de estudo desse trabalho, onde está apresentado em detalhes na Seção 3.

Como apoio desse projeto educacional, além do protótipo da bancada de sete bobinas, foi utilizado uma bobinadeira para montagem dos eletroímãs. Esse equipamento era manual e precisava de duas pessoas por um período de aproximadamente duas horas para montagem de uma bobina (uma pessoa para girar a manivela do eixo principal, a outra para guiar a disposição do fio de cobre sob as camadas). Esse tempo era necessário, principalmente, pela qualidade desejada e padronização de cada elemento produzido para o kit. A imagem da Figura 2 mostra a confecção da bobina.

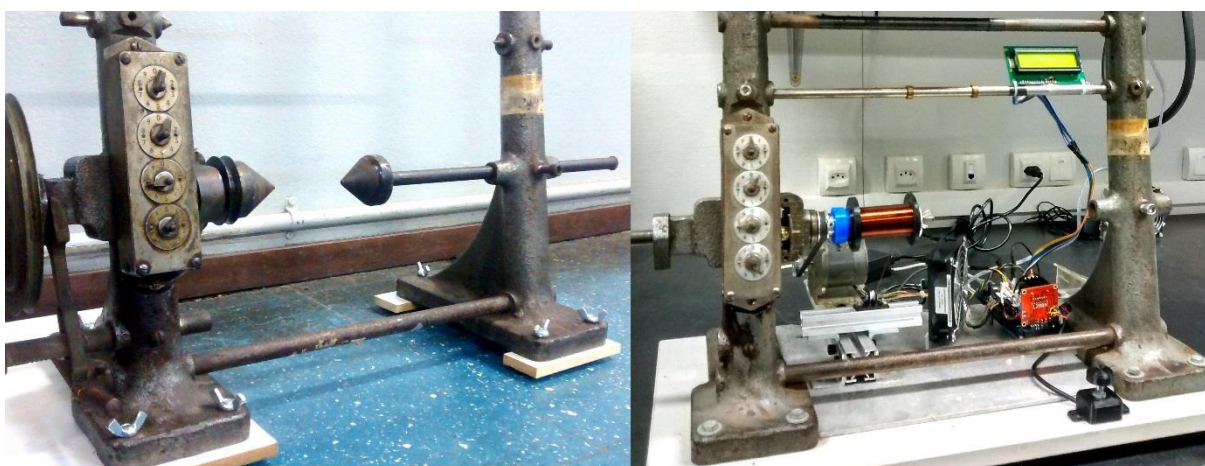
A partir desta dificuldade, surgiu a necessidade de automatizar essa bobinadeira, e seu desenvolvimento aconteceu em paralelo ao do kit educacional. Parte de sua construção foi realizada em disciplina de Projeto Orientado (COSTA, 2014). As imagens da Figura 3 mostra o comparativo do Enrolador de Bobinas antes e depois da implementação das melhorias.

Figura 2 - Bobina projetada para o Kit



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 3 – Comparativo do Enrolador Linear de Bobinas, antes e depois.



Fonte: Produção do próprio autor.

Como proposta desse projeto de graduação, deseja-se desenvolver um kit educacional baseado no conceito do motor linear, a partir da modelagem de pistas modulares e veículo magnético, detalhados na Seção 3. Um dos desafios esperados para este projeto é, entre outros, a montagem da estrutura de acrílico dos módulos filho e conclusão da placa principal do circuito eletrônico.

1.2 Justificativa

Com a premissa da curiosidade e dificuldade em compreender melhor os fenômenos eletromagnéticos que envolvem o motor linear, decidiu-se desenvolver um kit educacional

acerca desse assunto. Espera-se que este kit seja utilizado de maneira lúdica e didática por estudantes, professores e público em geral, no intuito de aproximar as pessoas do conhecimento e, assim, compartilhá-lo.

Sobre as máquinas elétricas, existe uma vasta classificação quanto ao seu tipo. Pode-se dizer que, para cada motor rotativo existe um motor linear equivalente. Exemplo disso são o motor linear de indução (MLI) e o motor linear síncrono (MLS), que são motores com ampla aplicação na indústria e com inúmeras publicações acadêmicas realizadas, como visto em (CHEVAILLER, 2006), (IDAGAWA, 2009) e (SPINASSÉ, 2010). Todavia, o custo para desenvolver e implementar sua eletrônica de controle é um fator que limita e restringe o público com potencial para se envolver em projetos como esse.

Pensando nesse fato, decidiu-se escolher o motor linear de passo pois diferente do MLI, o qual requer um inversor de frequência e equipamentos de potência caros e sofisticados, o acionamento e controle do motor linear de passo opera com componentes eletrônicos de baixo custo e de fácil obtenção no mercado. O Autorama Magnético estará acessível a estudantes, hobistas e a quem desejar reproduzir este projeto.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste projeto tem como razão construir um autorama magnético modular para auxiliar no estudo e aprendizado dos estudantes de engenharia nas disciplinas em que este projeto está inserido. Além disso fomentar nestes alunos o interesse pelo desenvolvimento de novos projetos para soluções de problemas desafiadores.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos à alcançar nesse projeto são:

- a) Apresentar o projeto básico do Kit Educacional de um Autorama Magnético.
- b) Apresentar o projeto executivo do Veículo Magnético e Módulo Filho.
- c) Realizar a montagem e construção mecânica do veículo e de 3 módulos de pista do Kit Educacional.

1.4 Estrutura do Trabalho

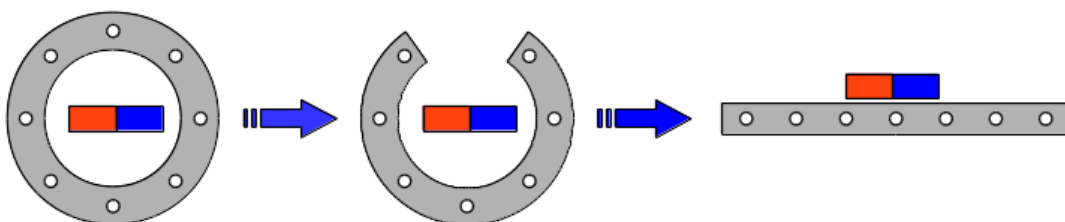
Esse texto está distribuído com a seguinte estrutura: na seção 2 é apresentado o princípio de funcionamento de um motor linear convencional, e seu equivalente na disposição linear. Esses princípios são utilizados para a movimentação do veículo no Autorama Magnético. A seção 3 apresenta as definições gerais do projeto básico, elaborado para a criação do Kit Educacional. A seção 4 mostra as características específicas do projeto executivo e define o escopo de desenvolvimento do projeto, que não abrange todas as parte do projeto básico. Além de apresentar o resultado da implementação do projeto executivo. As sugestões para trabalhos futuros é apresentado na seção 5.

2 PRINCÍPIOS DE UM MOTOR LINEAR

Uma característica física das máquinas elétricas rotativas é a existência do rotor, peça móvel localizada no eixo, e do estator, parte fixa e localizado na carcaça. Nos motores lineares essa afirmação também é verdadeira, porém o estator, ou primário, está configurado na disposição linear, formando um caminho de percurso, e o rotor, ou secundário, está acima deste, se movimentando em translação pelo caminho (SEN, 2013).

A seguir, uma ilustração de como um motor linear pode ser obtido a partir de um motor convencional (rotativo), Figura 4. Nesse diagrama, a parte em cinza é o primário, os círculos são os enrolamentos do estator (em branco para os desenergizados, em azul e vermelho para os energizados), e o retângulo vermelho e azul é o secundário, representado por um ímã permanente, com polaridades definidas. As cores azul e vermelho representam, respectivamente, polo sul e norte dos campos magnéticos envolvidos.

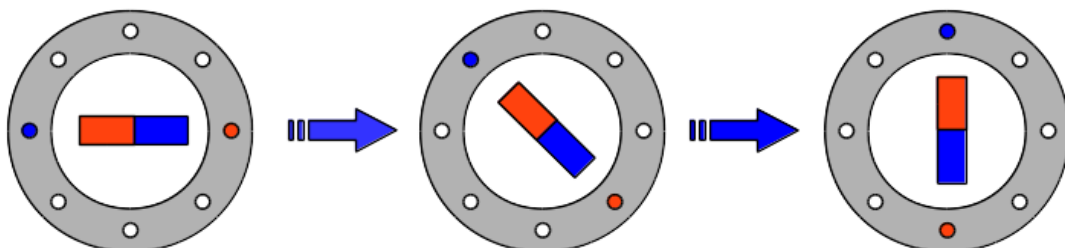
Figura 4 – Resultado da obtenção do motor linear através de um motor rotativo



Fonte: Produção do próprio autor.

A seguir, ilustrações do movimento do rotor em um motor de passo convencional Figura 5, e movimento do rotor em um motor de passo linear, Figura 6.

Figura 5 – movimento do rotor em um motor de passo convencional



Fonte: Produção do próprio autor.

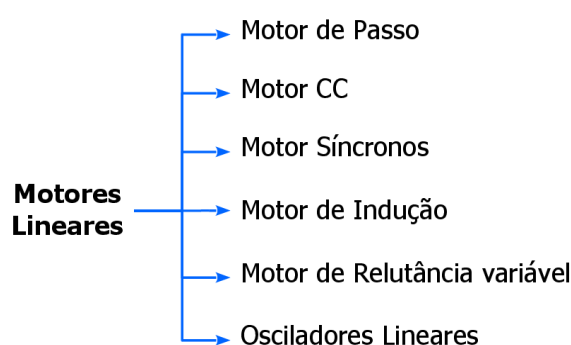
Figura 6 – Movimento do secundário em um motor de passo linear



Fonte: Produção do próprio autor.

Há uma variedade de tipos de motores lineares, assim como há para os motores rotativos. A Figura 7 apresenta as principais máquinas que são utilizadas em disposição linear.

Figura 7 – Classificação dos motores lineares



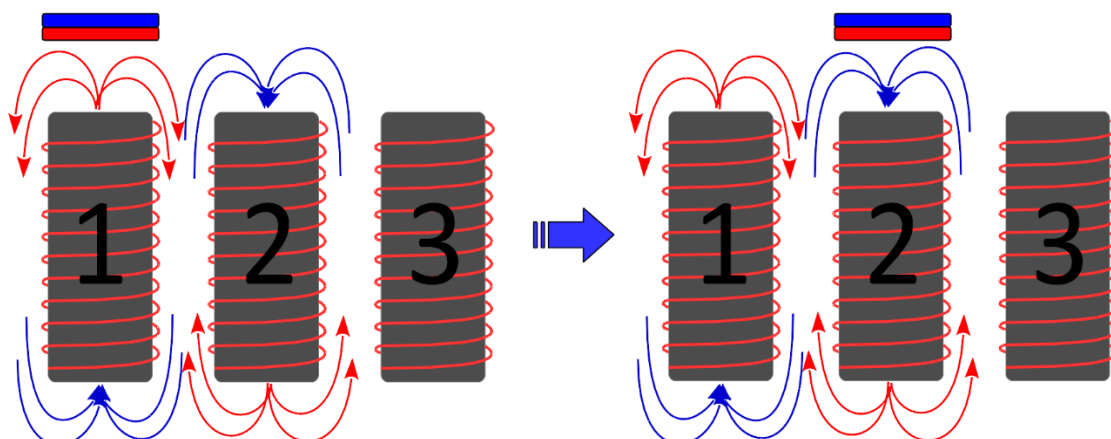
Fonte: Spinasse, 2010

Como citado anteriormente, esse projeto utilizará as características do motor linear de passo para a construção do autorama magnético modular. O princípio de funcionamento desse motor é semelhante ao motor de passo convencional. A seguir está descrito uma breve explicação sobre seu funcionamento.

O veículo do autorama magnético pode se movimentar com a seguinte lógica de operação: Primeiramente, o veículo se encontra parado na posição 1 da trajetória, representado pelo ímã na Figura 8. O início do movimento ocorre devido à interação do campo magnético, gerado pelas bobinas, com o ímã presente no veículo.

Ao acionar o primeiro par de bobinas, a interação magnética da bobina 1 com o ímã é de repulsão, enquanto que o da bobina 2 é de atração. Nesse momento, o veículo começa a se deslocar para a direita até atingir a posição 2.

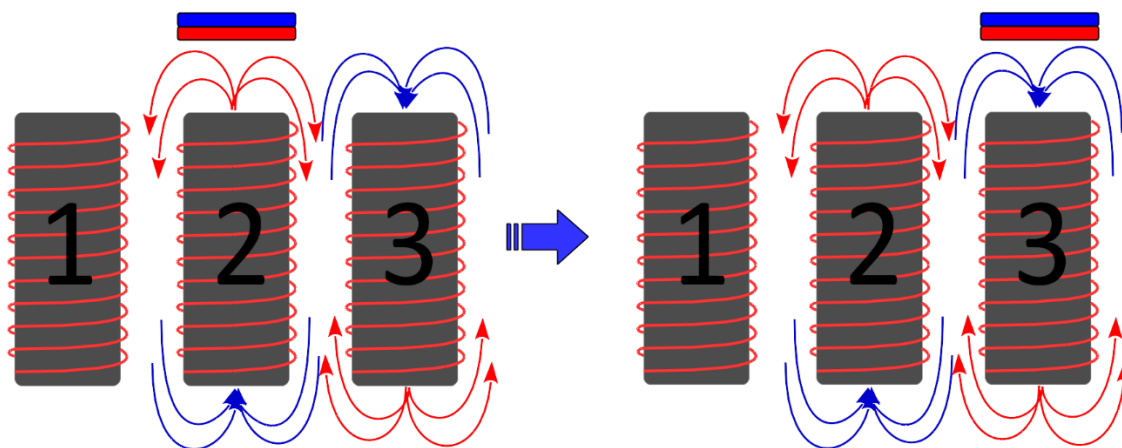
Figura 8 – Primeiro trecho de operação.



Fonte: Produção do próprio autor.

Uma vez nesta posição, aciona-se o segundo par de bobinas, Figura 9, de forma que a bobina que antes atraía o ímã agora irá o repelir, e assim sucessivamente. Essa sequência de passos se repete até o veículo chegar na última bobina e, a partir de então, ocorre a volta, e esse ciclo se repete.

Figura 9 – Segundo trecho de operação



Fonte: Produção do próprio autor.

3 PROJETO BÁSICO

Esta seção descreve a proposta do projeto básico do Kit Educacional de um Autorama Magnético, também chamado de Vemagic, onde apresenta como principal característica ser modular e de fácil instalação e montagem, ou seja, ser *plug and play* (termo utilizado na informática para plugar e usar, em tradução livre).

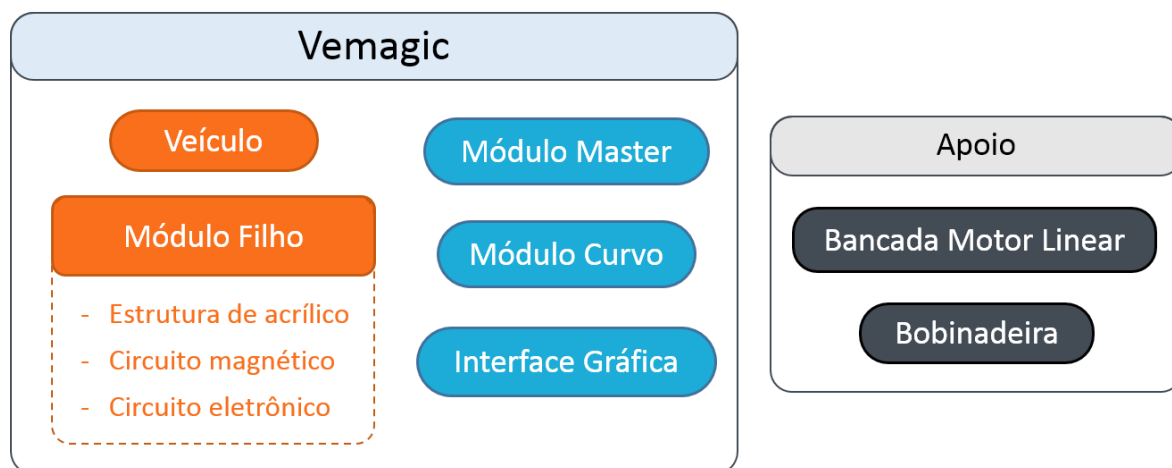
As principais propostas para o Autorama Magnético, a partir do trabalho inicial desenvolvido na IC (COSTA, 2013), foram:

- a) A pista se tornou modular, permitindo sua montagem em diferentes tamanhos e disposições. O desenho dos módulos foi projetado em estruturas de acrílico.
- b) A eletrônica se tornou descentralizada, cada módulo de pista foi equipado com um μC (microcontrolador) para acionamento e controle independente. Dessa forma, a projeção de um módulo coordenador foi necessária, o Módulo Master.
- c) Um barramento de energia e dados também se tornou necessário, e esse será intermediado por um conector DB-15, localizado na entrada e saída de cada módulo. A alimentação do circuito poderá acontecer através do Módulo Master ou de algum Módulo Filho que esteja nos extremos da pista.
- d) Cada módulo foi dimensionado para conter duas bobinas. Para diferenciar o Módulo Master dos outros, que possuirá mais funções além de coordenador, este foi desenhado para alocar quatro bobinas.
- e) Módulos Curvos foram inseridos ao projeto básico. Como a proposta do kit é ser um autorama, uma configuração de pista fechada é desejada. Os mesmos também possuirão quatro bobinas.
- f) Sensores de posição foram inseridos ao escopo do projeto. Isso permitiu a realimentação da malha de controle. Antes o chaveamento das bobinas era feito em malha aberta, ou seja, a posição do veículo ao longo do caminho era previamente calculada e estimada.
- g) LEDs RGB foram adicionados ao circuito dos módulos, cada bobina possui um associado. Essa inclusão permitiu uma interação visual e lúdica dos campos magnéticos induzidos nas bobinas pela pista, hora positivo hora negativo, com as cores vermelho e azul. Além de interagir com o usuário com notificações e alguns alertas.

- h) Cada módulo de pista permite receber atualização de código pela interface serial do μC (necessário utilizar um dispositivo que converta a comunicação serial para USB). Para gerenciar a rede de módulos e definir trajetos para o veículo, decidiu-se que o Módulo Master fosse o intermediador, portanto contará com um CI Serial-USB embarcado em sua PCB (placa de circuito impresso). Isso facilitará a comunicação entre o PC e o Kit Educacional, necessitando apenas de um cabo USB.
- i) O desenvolvimento de uma aplicação com Interface Gráfica é desejável, uma vez que o Módulo Master permite se comunicar com o PC para inserção e coleta de dados do autorama, como, por exemplo, definir o trajeto do veículo ou saber quantos módulos estão conectados ao kit.

A descrição acima define a concepção do Kit Educacional, o Vemagic. Dentre os elementos e recursos citados, os que fazem parte do escopo deste PG são os de cor laranja, conforme ilustração na Figura 10. Dessa forma, tanto Veículo quanto Módulo Filho serão apresentados em detalhes no Projeto Executivo, Seção 4.

Figura 10 – Mapa geral do projeto básico.

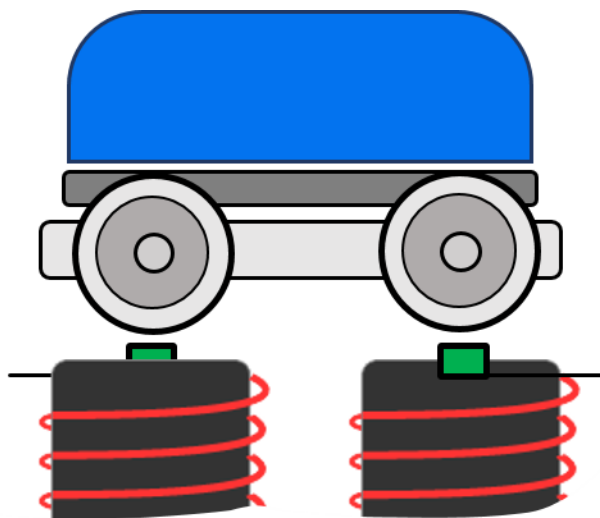


Fonte: Produção do próprio autor.

O Módulo Master, Curvo e a Interface Gráfica serão sugeridos como trabalhos futuros. A seguir será abordado o projeto e características principais de cada elemento do Autorama Magnético. Por fim, na Seção 4, será apresentado a lógica de funcionamento do Sistema como um todo.

3.1 Veículo e Sensor de Posição

Figura 11 – Representação do veículo e sensor de posição no módulo de pista



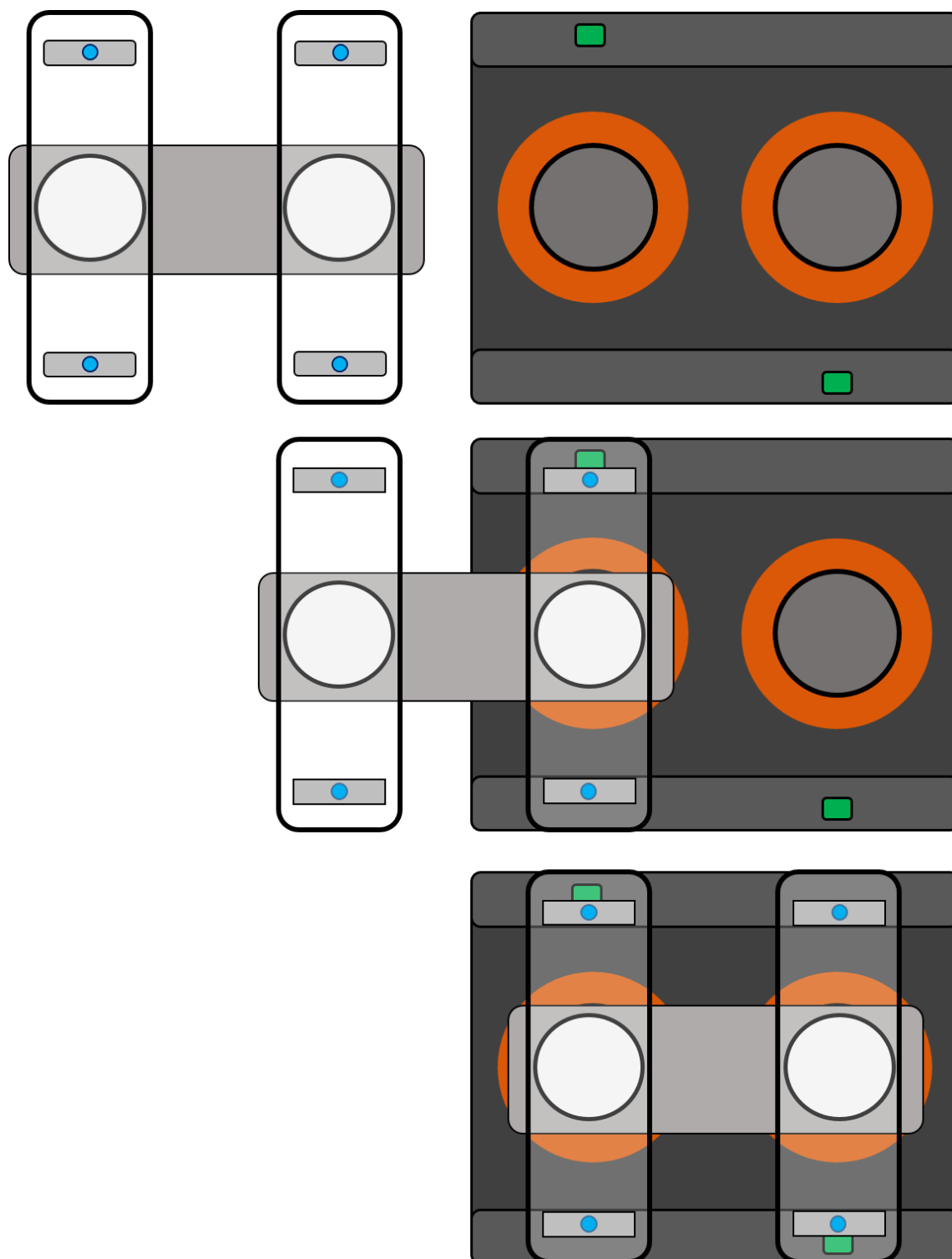
Fonte: Produção do próprio autor.

O veículo é o elemento passivo do sistema. Possui um par de ímãs principais, responsável por interagir com o campo magnético induzido pelas bobinas, realizando o movimento; e quatro ímãs auxiliares, com a função de ativar os sensores de posição ao longo do caminho. A vista lateral do veículo, Figura 11, ilustra o sensor de posição, representado pelos retângulos em verde.

A seguir, na Figura 12, é apresentado em vista superior o movimento do veículo sob um módulo de pista. Os círculos em branco no veículo representam os ímãs principais, e círculos em azul os auxiliares. Conforme o movimento do veículo é possível observar o alinhamento dos ímãs auxiliares com os sensores de posição, assim como a centralização das bobinas com os ímãs principais, ao chegar na última etapa da imagem.

O componente eletrônico escolhido como sensor de posição é o sensor de efeito Hall, o qual utiliza o princípio de campo elétrico para medir um campo magnético sobre este induzido, é muito utilizado no setor industrial e automobilístico (SMAILI, 2009).

Figura 12 – Etapas do movimento do veículo sob um Módulo de Pista

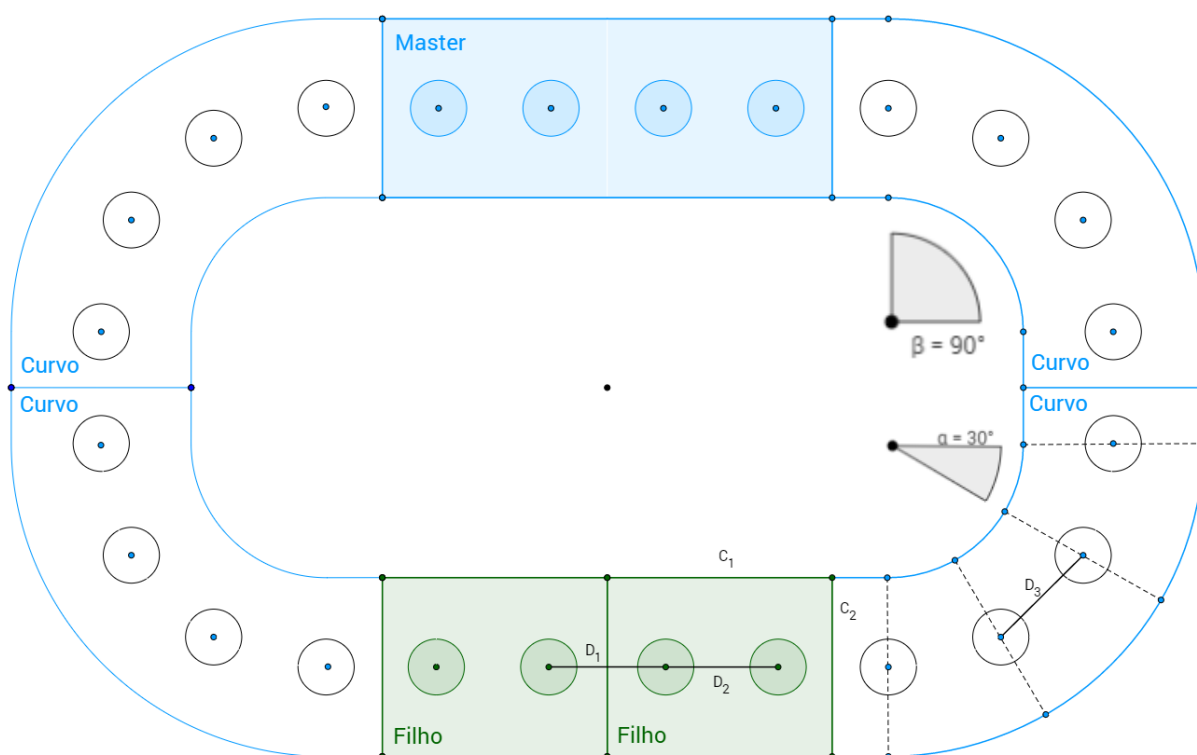


Fonte: Produção do próprio autor.

3.2 Pista modular

O projeto da pista abrange a criação de estruturas modulares. Dessa forma, o *layout* de montagem se torna livre e escalável. Foi concebido módulos com disposição linear e com formato curvo, permitindo fechar o caminho do trajeto no autorama. Na Figura 13 é apresentado uma configuração de pista contendo os tipos de módulos possíveis: Master, Filho e Curvo.

Figura 13– Projeto da pista modular do Vemagic.



Fonte: Produção do próprio autor.

Nessa ilustração, os círculos com o ponto no meio representam as bobinas, que são equidistantes umas das outras, seja entre módulos ou internamente (D_1 , D_2 e D_3). Os comprimentos C_1 e C_2 são referentes ao Módulo Filho e define o padrão de tamanho para os demais módulos. O Módulo Curvo foi desenhado para ter 90° de curvatura na trajetória, ângulo β , e confere com ângulos α de 30° de abertura entre duas bobinas, ambos em relação ao raio do módulo.

3.2.1 Endereçamento da rede

A pista do autorama é composta por módulos ativos. Ou seja, cada módulo pode realizar seu próprio controle, como acionar bobinas e acender LEDs, de forma independente dos demais. Para estabelecer uma ordem de execução das tarefas nessa rede de módulos, é desejável que

existam dois protocolos de comunicação: um para comunicação *broadcast* entre transmissor e receptor, utilizando um protocolo de barramento, como o I2C; e outro para comunicação entre módulos adjacentes, utilizando protocolo serial ponto a ponto.

Com a comunicação em barramento é possível saber quantos módulos estão interconectados e qual o endereço deles. Entretanto, apenas com a comunicação ponto a ponto é possível saber que o módulo de endereço 1 está entre o 4 e o 8, por exemplo. E essa informação é importante para definir uma programação sequencial de ativação dos módulos da pista.

O endereçamento dos módulos é escolhido manualmente na compilação do firmware para o μC dos mesmos. Assim, cada módulo de pista terá um endereço fixo e único. Além disso, é possível definir, pelo padrão do endereço, se o módulo é Master, Filho ou Curvo. A respeito desta classificação, a Tabela 1 resume as principais características dos módulos.

Tabela 1 – Classificação dos Módulos por Característica Mecânica e Lógica

Nome do módulo	Disposição mecânica	Bobinas	Função no Protocolo de barramento
Master	Linear	4	Mestre
Filho	Linear	2	Escravo
Curvo	Curva	4	Escravo

Fonte: Produção do próprio autor.

Em termos gerais, um Módulo Filho ou Curvo, por exemplo, pode operar como mestre da rede no protocolo de barramento, uma vez que seja programado para tal função. A concepção do Módulo Master, todavia, com estrutura física diferente, se fez para facilitar seu uso no Kit Educacional, e se distinguir dos demais pela sua função lógica, estabelecida a priori, itens c), d) e e) da seção 3.

3.2.2 Módulo de pista

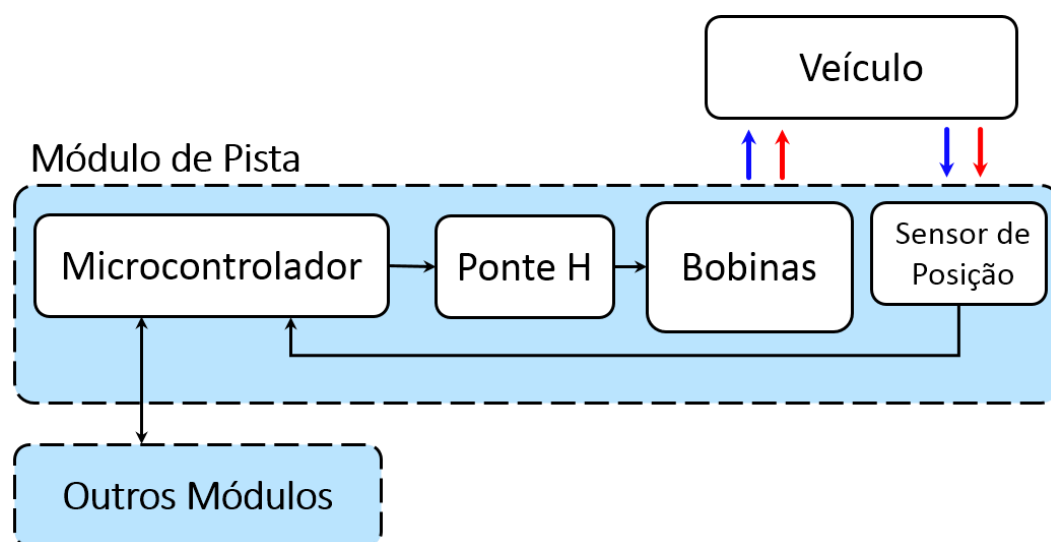
Os módulos de pista podem ser classificados como Master, Filho e Curvo, como citado anteriormente, Tabela 1. Seus elementos são divididos conforme abaixo:

- a) Estrutura de acrílico
- b) Circuito magnético
- c) Circuito eletrônico

A estrutura de acrílico abrange a carcaça e partes mecânicas do módulo. O circuito magnético envolve o núcleo ferromagnético, bobinas e ímãs do veículo. E o circuito eletrônico, que engloba a fonte de alimentação, placa principal e sensores de posição, alocado internamente na estrutura de acrílico. A placa principal contém o μC , ponte H, LEDs, conector de barramento, dentre outros elementos. Os detalhes técnicos de cada elemento será abordado na seção 4.

O diagrama da Figura 14 apresenta uma versão simplificada da interação elétrica e magnética entre os Módulos de Pista e o Veículo Magnético. O caminho elétrico entre os elementos do circuito pode ser uni ou bidirecional, representado pelas setas em preto. A interação magnética entre os elementos do módulo com o veículo, que podem ser polo norte ou sul, estão representados pelas setas em vermelho e azul, respectivamente.

Figura 14 – Diagrama do circuito eletrônico e magnético



Fonte: Produção do próprio autor.

Como ilustrado no diagrama, o μC é responsável por enviar comandos à ponte H, receber os dados de posição do veículo e se comunicar com outros módulos da pista. A ponte H, elemento de potência capaz de energizar e alternar o sentido de corrente na carga, é responsável por acionar as bobinas, que necessitam de uma tensão maior de alimentação. Essas, uma vez energizadas, interagem magneticamente com o veículo, realizando seu movimento.

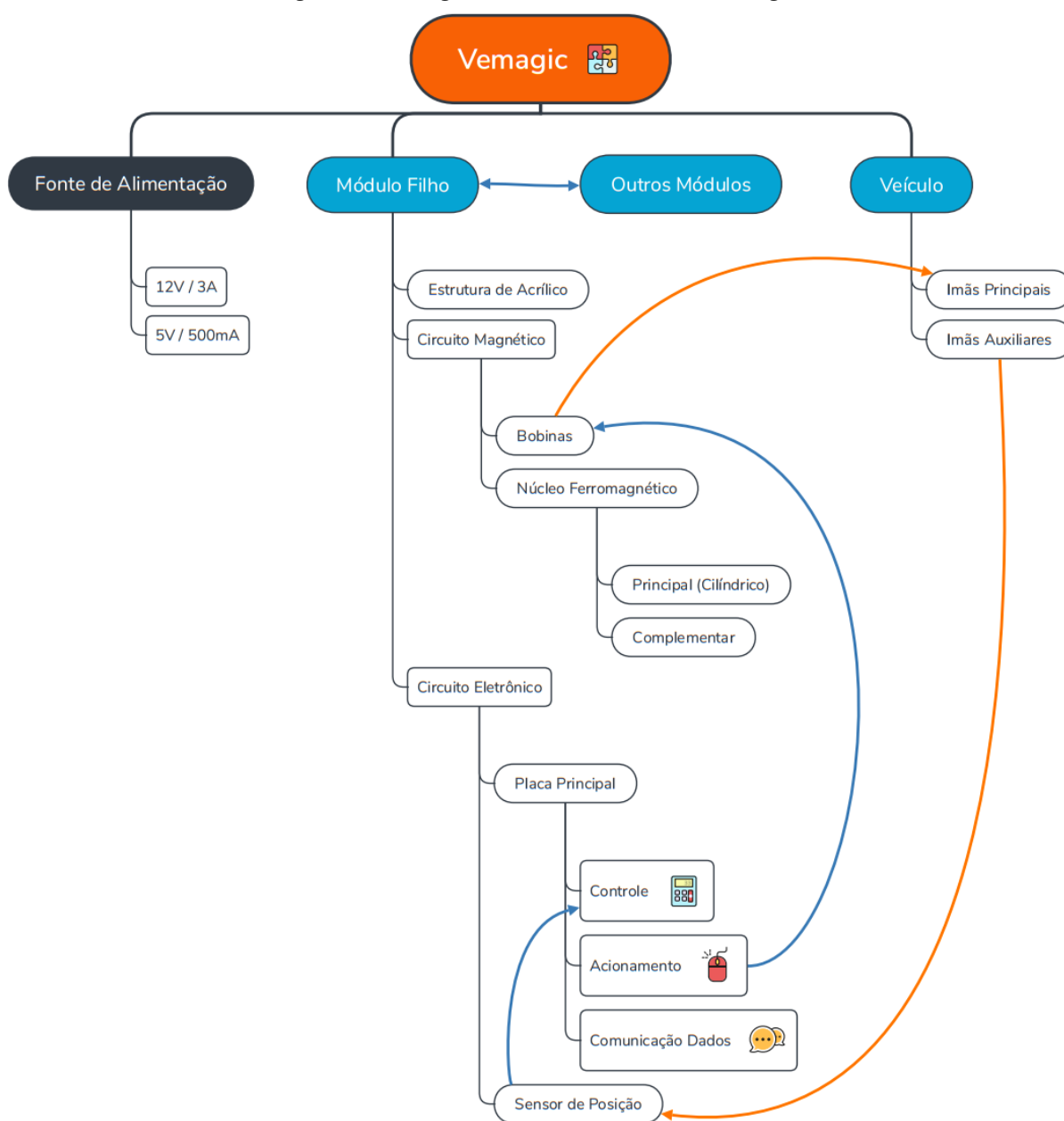
Uma vez em movimento, o veículo passa pelos módulos e interagem (também por magnetismo) com os sensores de posição. Quando essa informação, através do sensor de posição, chega ao μC , esse reenvia os comandos para ponte H, reconfigurando o estado de ativação das bobinas daquele módulo.

Esse princípio de funcionamento se aplica aos módulos Master, Filho e Curvo. Embora possuam estruturas físicas distintas, como ilustrado na Figura 13, seu comportamento elétrico e magnético é semelhante.

3.3 Fluxograma do Projeto

A partir das especificações que compõe o projeto do Autorama Magnético, o fluxograma da Figura 15 apresenta uma visão geral e explicativa do projeto básico.

Figura 15– Fluxograma de funcionamento do Vemagic.



Fonte: Produção do próprio autor.

A fonte de alimentação escolhida possui duas tensões de operação, uma para energizar as bobinas, 12V, e outra para alimentar o circuito lógico (μC , LEDs, comunicação de dados, etc), de 5V. O Módulo Filho, Outros Módulos Filho e Veículo são escopo desse projeto. Entretanto, a lógica de programação que envolve o controle, acionamento e comunicação de dados estão fora do escopo, e serão sugeridas para desenvolvimento pelos estudantes de engenharia.

Nesse fluxograma, os balões com cantos arredondados representam os elementos físicos e, assim, palpáveis. Já os balões retangulares representam características ou termos conceituais. As setas em azul estão no domínio elétrico enquanto que as em laranja no domínio magnético, e representam as interações lógicas entre os elementos, explicado na seção 3.2.2, Figura 14.

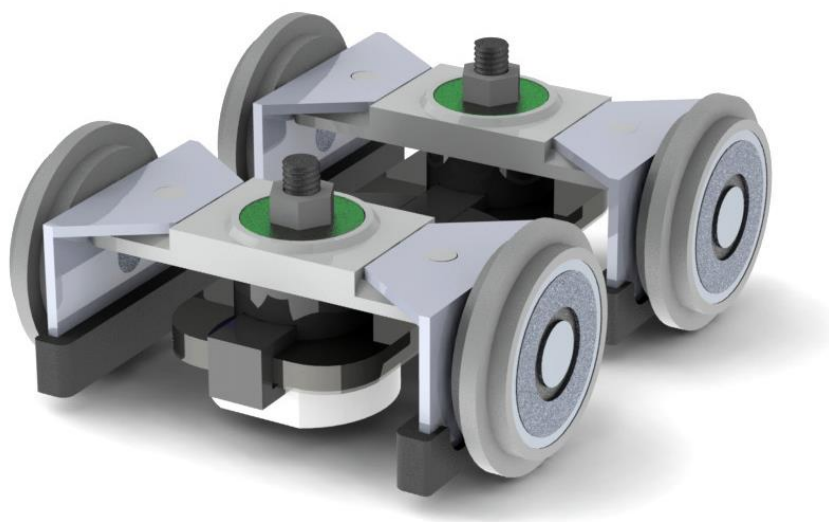
4 PROJETO EXECUTIVO

Esta seção compreende o desenvolvimento e implementação do projeto executivo do Autorama Magnético.

4.1 O Veículo

O projeto do veículo foi concebido a partir de uma estrutura física básica e desenhado em software de modelagem mecânica, conforme Figura 16. Seu formato é simétrico, permitindo seu deslocamento em ambos sentidos na pista. Foram utilizados peças impressas em 3D, rolamentos, parafusos, porcas, conjunto de rodas com rolamento, chapas de aço silício e ímãs de neodímio.

Figura 16 – Ilustração do Veículo Magnético



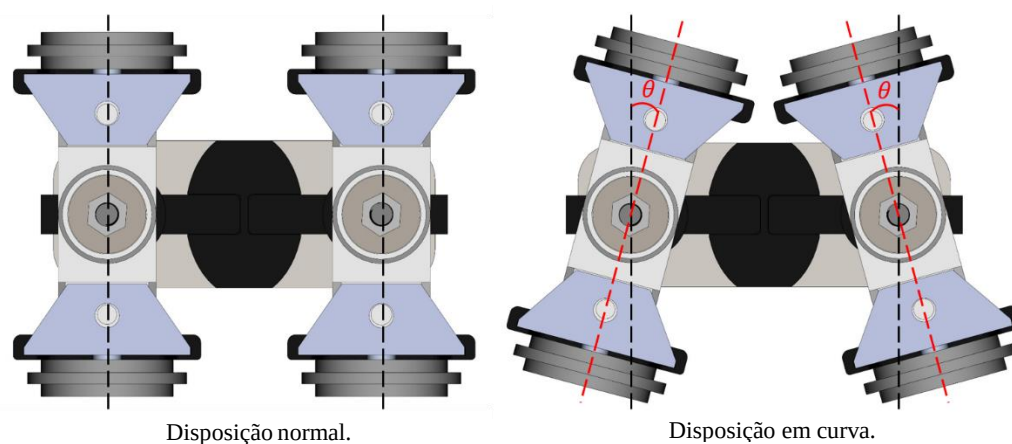
Fonte: Produção do próprio autor.

Suas dimensões são apoiadas no comprimento e largura de um módulo de pista, assim como o espaçamento dos ímãs principais, que tem a mesma distância das bobinas no módulo, abordado na seção 3.2. Possui um conjunto de quatro rodas, com dois eixos interligando cada par e um rolamento embutido em cada eixo. Esse rolamento, destacado em verde Figura 16, permite que o veículo realize curvas, atendendo as especificações do projeto básico.

A ilustração da Figura 17 – Vista superior do veículo magnético mostra a liberdade de giro que o veículo possui através dos rolamentos centrais em seus eixos. O ângulo de giro θ é de 15° , e

com isso, atende ao projeto do Módulo Curvo, que possui um ângulo $\alpha = 30^\circ$ para cada trecho de bobinas, como apresentado na Figura 13 da seção 3.2.

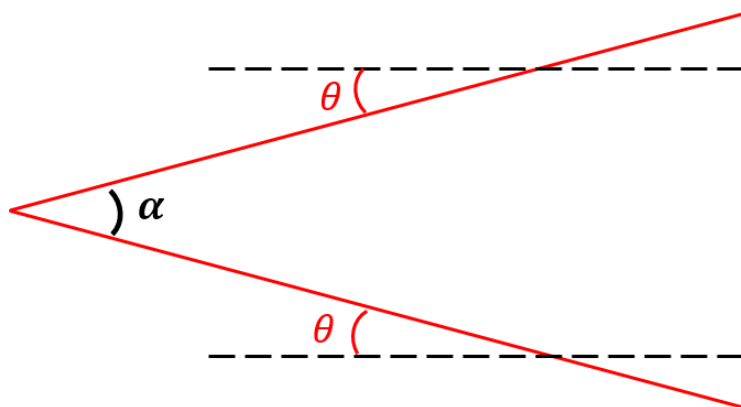
Figura 17 – Vista superior do veículo magnético



Fonte: Próprio autor.

Pela trigonometria de triângulos, esboçado na Figura 18, temos: $\alpha = 2 * \theta$, o que satisfaz o ângulo de abertura do veículo para a manobra que esse fará na curva do módulo.

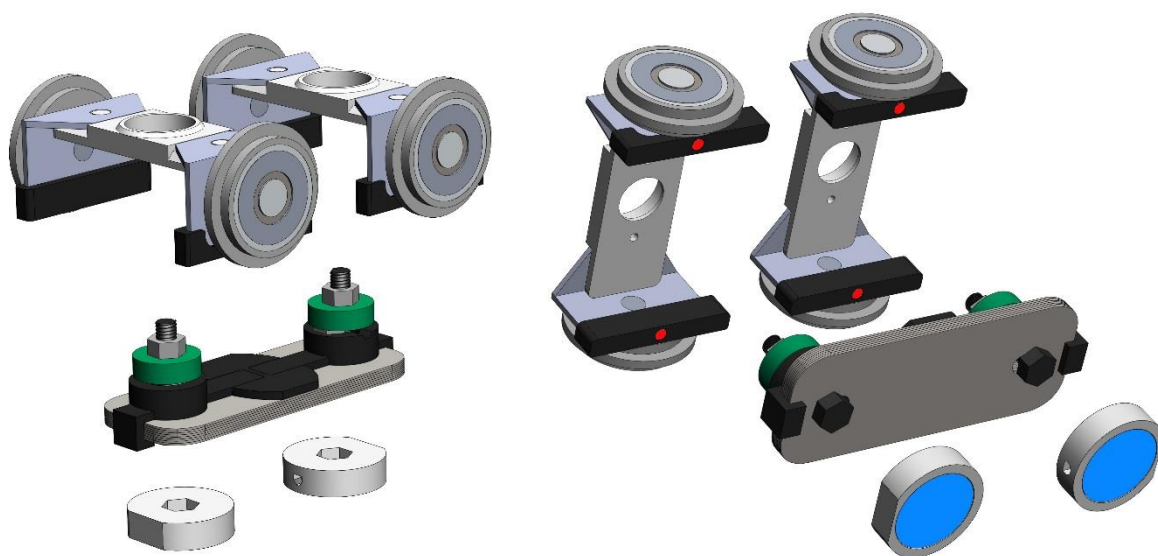
Figura 18 – Ângulos do Módulo Curvo e Veículo Magnético



Fonte: Próprio autor.

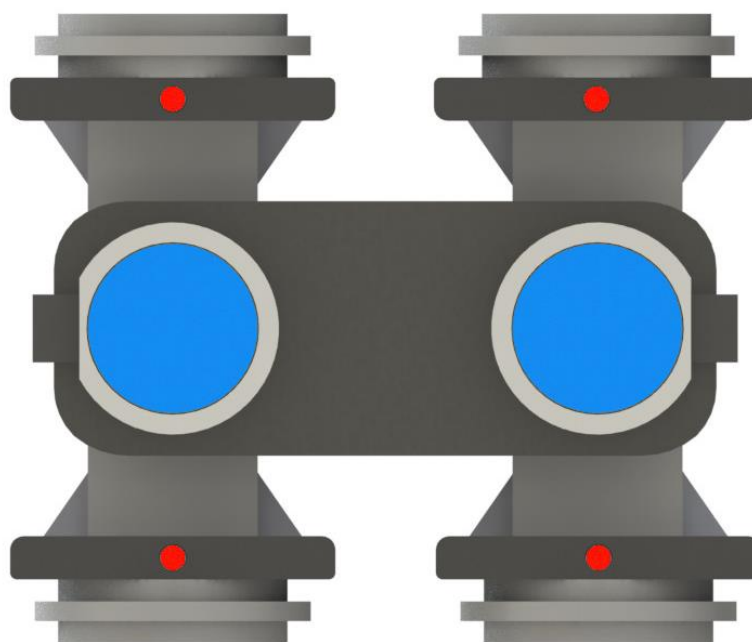
Os ímãs principais e auxiliares estão identificados pelas cores azul e vermelho, respectivamente, na Figura 19, que também apresenta as principais partes da montagem mecânica do veículo. A ilustração da Figura 20 mostra a disposição dos ímãs na vista inferior do veículo. A lista de materiais utilizados e dimensões técnicas do veículo estão documentadas no Apêndice A.

Figura 19 – Vista explodida do veículo



Fonte: Próprio autor.

Figura 20 – Vista inferior do veículo



Fonte: Próprio autor.

4.2 O Módulo Filho

Essa seção apresenta o desenvolvimento do modelo tridimensional da Estrutura de Acrílico, do Sensor de Posição e do Circuito Magnético do Módulo Filho, além do projeto da Placa Principal do circuito eletrônico, que envolve o circuito esquemático e roteamento da PCB. A Figura 21, a seguir, ilustra o modelagem final desse módulo de pista.

Figura 21 – Modelagem mecânica do Módulo Filho.



Fonte: Produção do próprio autor.

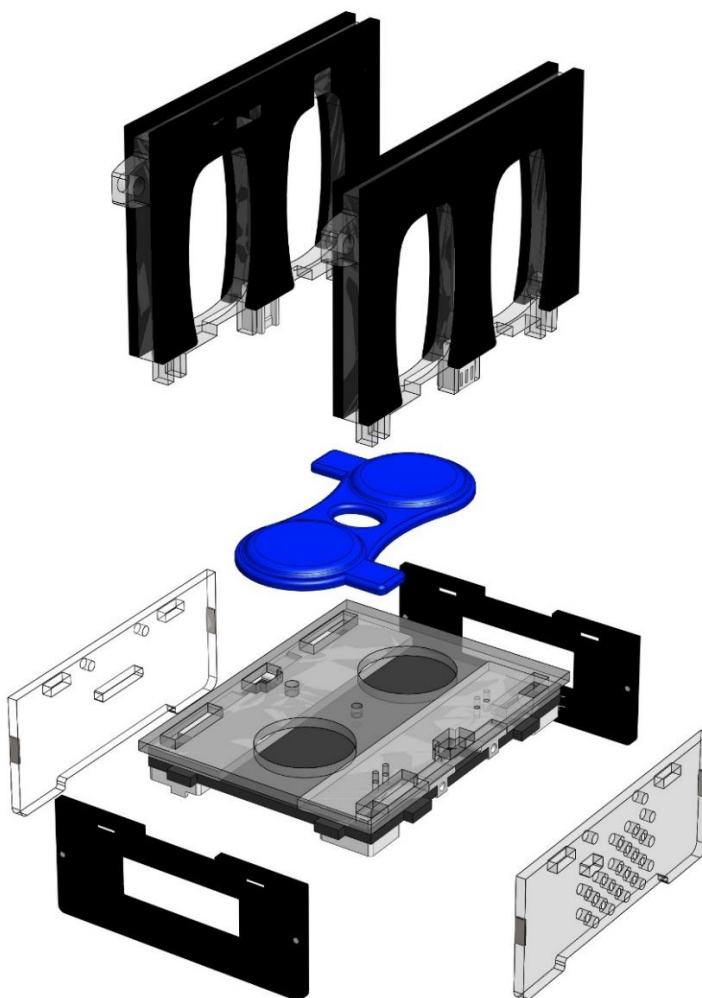
4.2.1 Estrutura de Acrílico

A estrutura física do Módulo Filho foi projetada em software de modelagem mecânica. Suas partes foram escolhidas para ser de acrílico, salvo algumas peças que foram realizadas em impressora 3D, como o segurador de bobinas, identificado em cor azul na Figura 22.

Essa estrutura é composta:

- a) Pelas paredes de acrílico, onde contém o trilho do veículo e alojamento para o sensor de posição;
- b) Pelo segurador de bobinas, que impede que as bobinas saiam do módulo, caso este seja inclinado ou virado em manuseios;
- c) Pela base, que une todas as peças envolvidas, como paredes, bobinas, núcleo ferromagnético, placa do circuito eletrônico e laterais de sustentação;
- d) E pelas laterais de sustentação, que adicionam um espaçamento entre a placa principal e a superfície de apoio do módulo, necessário devido aos componentes eletrônicos da PCB.

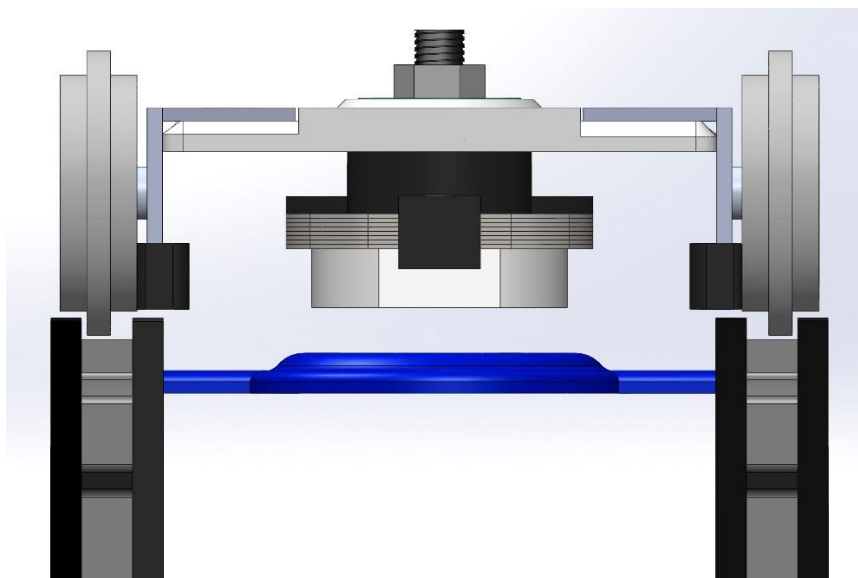
Figura 22 – Decomposição das partes da Estrutura de Acrílico.



Fonte: Produção do próprio autor.

A imagem da Figura 23 ilustra o veículo sob os trilhos da parede do módulo, apresentados em vista frontal.

Figura 23 – Visão frontal do veículo sobre o módulo de pista.



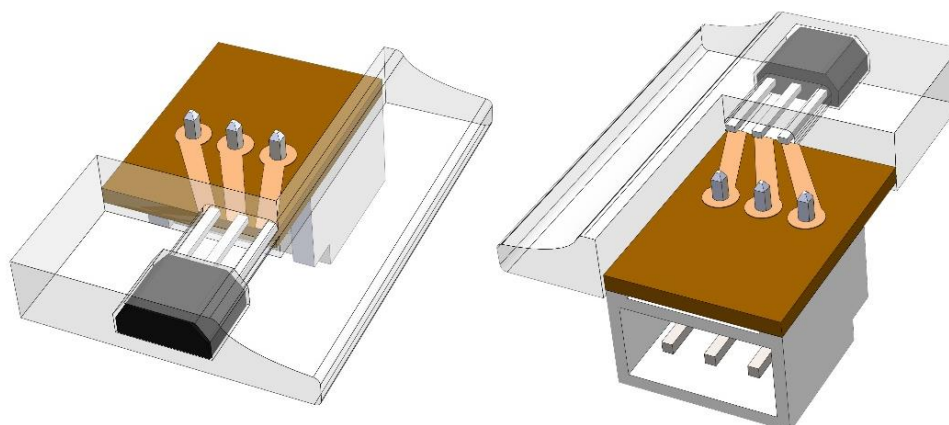
Fonte: Produção do próprio autor.

Uma vez que o modelo das peças é finalizado, exporta-se como arquivo vetorial o desenho de cada uma. A partir desse desenho 2D, uma máquina CNC de corte a laser faz o recorte das peças, e assim as conclui. Para esse módulo foram utilizados chapas de acrílico de 3mm e 5mm, nas cores preto e transparente. Os desenhos técnicos de cada peça da montagem estão documentados no Apêndice B.

4.2.2 Sensor de Posição

Como apresentado no projeto básico, o sensor de efeito Hall foi o componente escolhido para ser o sensor de posição. Esse sensor é do tipo analógico e é alimentado com 5V. É ativado quando o ímã auxiliar do veículo passa por ele. Conforme o ímã se aproxima do sensor, este fornece uma tensão entre 1V e 3V em sua saída. A tensão na saída tem valor máximo quando o ímã se alinha com o centro desse dispositivo, e nessa condição o veículo também se alinha com o centro do módulo de pista. Na Figura 24 é apresentado o modelo tridimensional do módulo de sensor que foi desenvolvido para alojamento interno na parede do Módulo Filho.

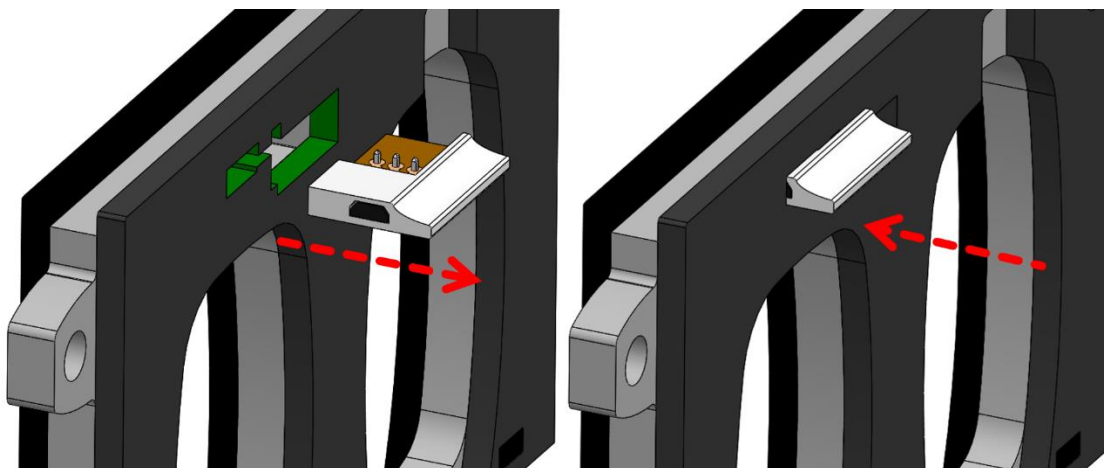
Figura 24 – Módulo do sensor Hall.



Fonte: Produção do próprio autor.

Esse módulo é composto pelo sensor Hall, de encapsulamento TO-92; uma PCB de apoio, um conector de 3 vias, que se conecta com o seu complementar na parede de acrílico; e uma peça de integração do conjunto, modelada para impressão 3D, e ilustrada em transparente Figura 24. A Figura 25 apresenta a localização do sensor na parede de acrílico do módulo de pista.

Figura 25 – Guia de inserção e remoção do sensor na parede de acrílico.



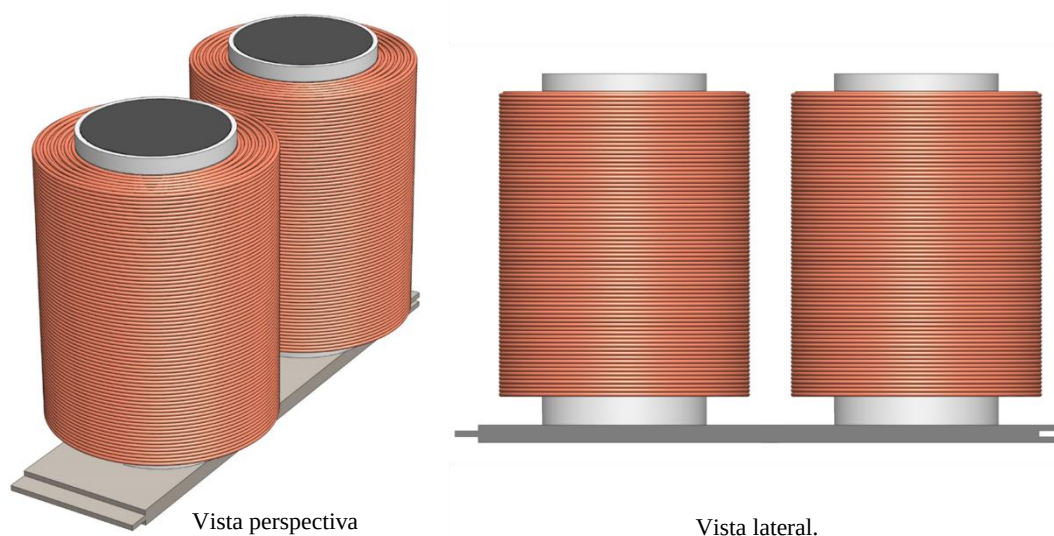
Fonte: Produção do próprio autor.

Os desenhos técnicos e características desse sensor é apresentado no Apêndice C.

4.2.3 Circuito Magnético

O circuito magnético de cada Módulo Filho é composto por duas bobinas cilíndricas, dois núcleos principais (também cilíndricos) e um núcleo complementar, formado por chapas de aço, ambos de material ferromagnético. Figura 26 ilustra esses elementos em vista perspectiva e lateral.

Figura 26 – Composição do Circuito Magnético do Módulo Filho.



Fonte: Produção do próprio autor.

O núcleo complementar é formado por 6 chapas de 100x26x0,5mm sobrepostas, totalizando 3mm de espessura. Seu formato foi projetado para ser de encaixe macho e fêmea e, por conta disso, fez aumentar a área de contato entre os núcleos quando um Módulo de Pista se conecta ao outro.

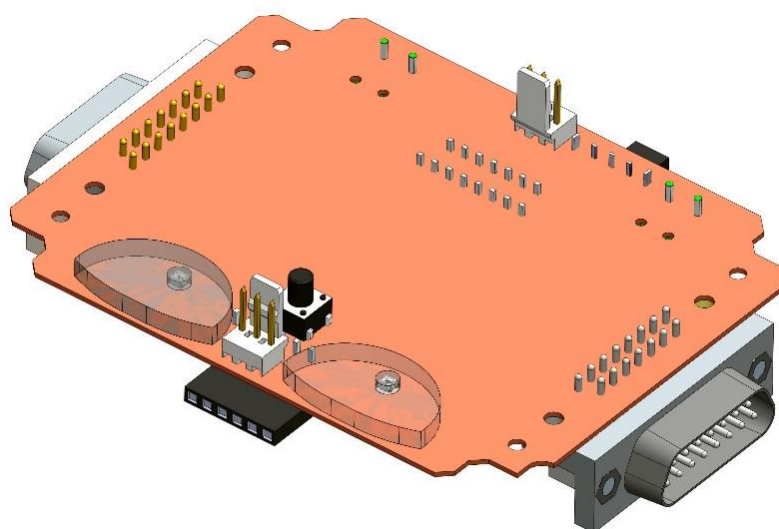
O núcleo principal possui 25,4mm de diâmetro por 60mm de comprimento. O fio de cobre é de bitola AWG 22 e está apoiado em uma proteção de PVC de 1,5mm. A bobina possui 12 camadas, enroladas em um comprimento útil de 50mm, totalizando aproximadamente 840 espiras. Cada bobina possui uma resistência interna de aproximadamente $5,5\Omega$ e permite operar em até 2A de corrente.

O desenho técnico do Circuito Magnético está documentado no Apêndice D.

4.2.4 Placa Principal

O desenvolvimento da Placa Principal do Módulo Filho compreende a realização do circuito esquemático, arquivo que contém todas as ligações entre os componentes eletrônicos; o roteamento da placa do circuito impresso, onde contém o caminho das trilhas físicas que interligam os componentes; e a modelagem tridimensional da placa, Figura 27, afim de se obter a melhor posição dos elementos e visualizar como esses interagem com a estrutura física do módulo;

Figura 27 – Modelo tridimensional da Placa Principal



Fonte: Produção do próprio autor.

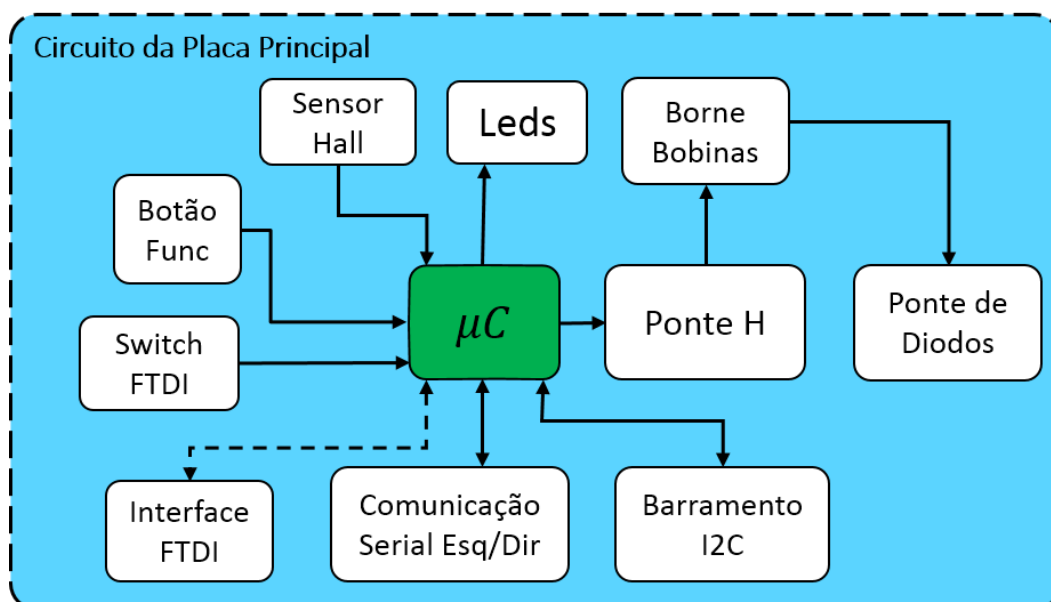
4.2.4.1 Circuito Esquemático

O diagrama resumido do circuito esquemático é apresentado na Figura 28, o completo está documentando no Apêndice E. Nesse diagrama, as setas representam o caminho do sinal elétrico, que pode ser uni ou bidirecional. O microcontrolador, dispositivo central na cor verde, é o que coordena todos os periféricos da placa. A ponte de diodos, por outro lado, exerce a função de proteção dos transistores da ponte H, uma vez que a energia armazenada nas bobinas podem danificá-los.

O Botão Func é um botão tátil de uso geral onde o usuário pode interagir com o módulo, quando necessário. O Switch FTDI é uma chave que seleciona a origem da alimentação do circuito lógico, que pode ser fornecida tanto pelo barramento de conexão dos módulos quanto pelo

dispositivo FTDI. A interface FTDI é utilizada quando se deseja fazer upload de código ou para estabelecer uma comunicação serial entre o módulo e o PC.

Figura 28 – Diagrama do circuito esquemático da Placa Principal.



Fonte: Produção do próprio autor.

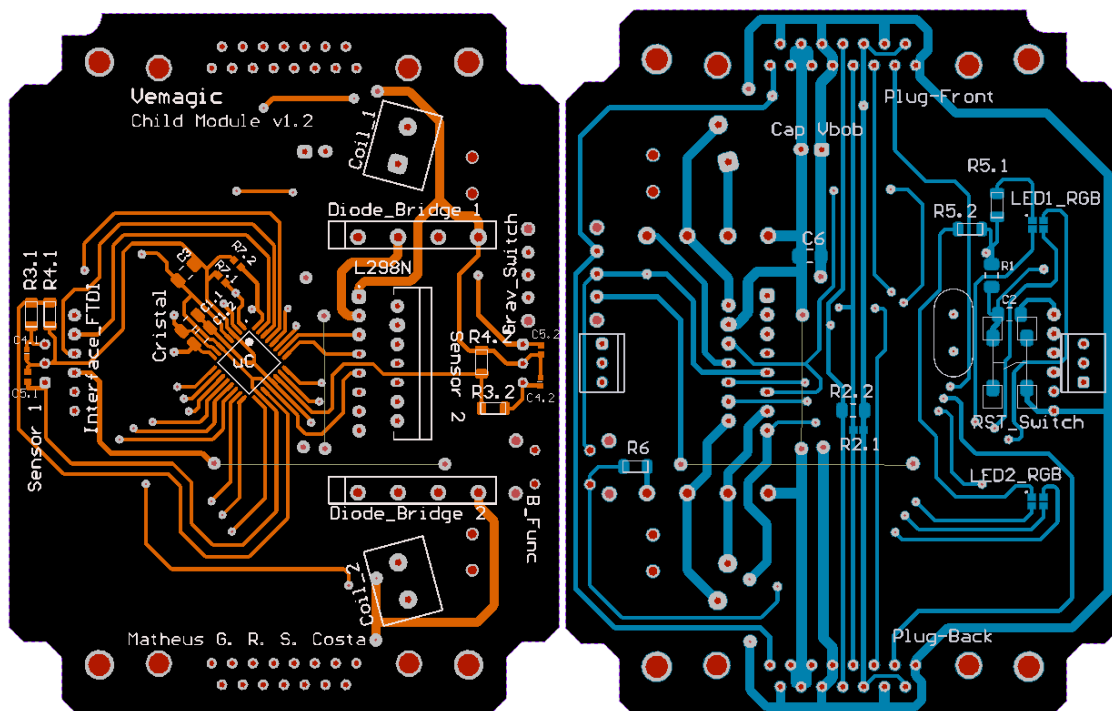
A comunicação serial Esq/Dir compõe o protocolo de comunicação ponto a ponto entre módulos adjacentes, citada na seção 3.2.1, e possui os sinais Tx1, Tx2, Rx1 e Rx2. E por último, o Barramento I2C, que faz parte do protocolo de barramento, também citado na seção 3.2.1

4.2.4.2 Placa de Circuito Impresso

Tanto a elaboração do circuito esquemático, Apêndice E, quanto o roteamento da placa foram realizados em *software* de desenho de circuitos, o *Circuit Maker*. O resultado do roteamento das trilhas é apresentado na Figura 29, enquanto que o modelo tridimensional da placa é apresentado na Figura 30. Nesta imagem não foi possível mostrar todos os componentes do circuito, por falta de modelo 3D do banco de dados da aplicação.

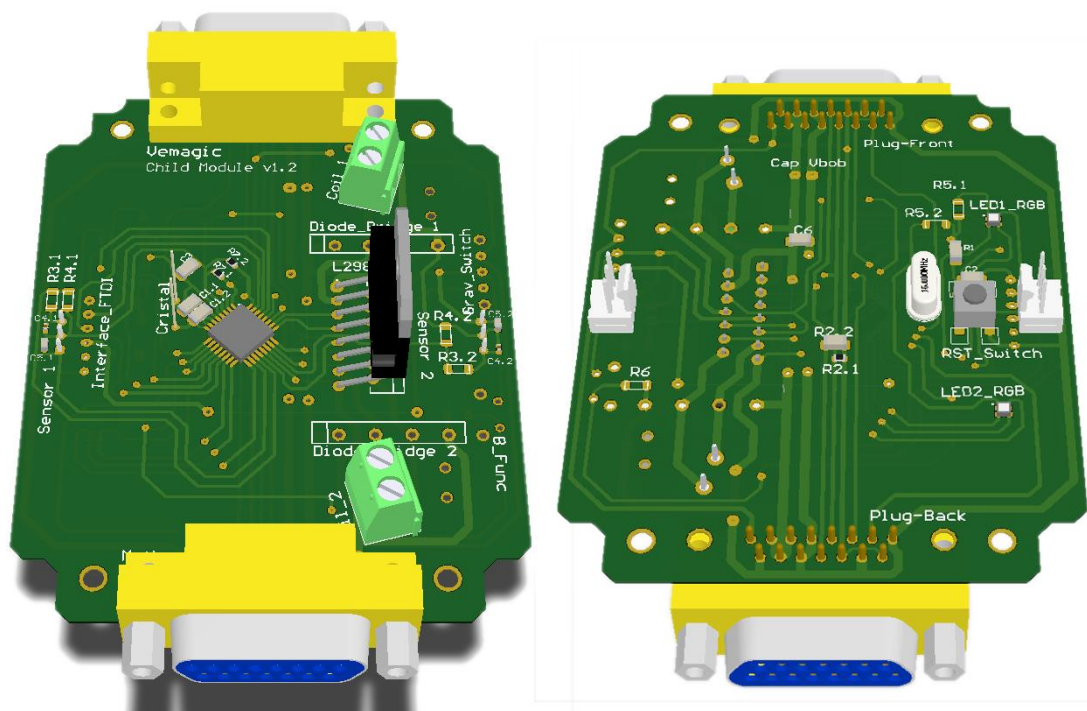
Dessa forma, se obtém a visão geral do modelo tridimensional de todas partes que compõe o Módulo Filho, ilustrado na Figura 31.

Figura 29 – Vista *top* e *bottom*, respectivamente, das trilhas da Placa Principal.



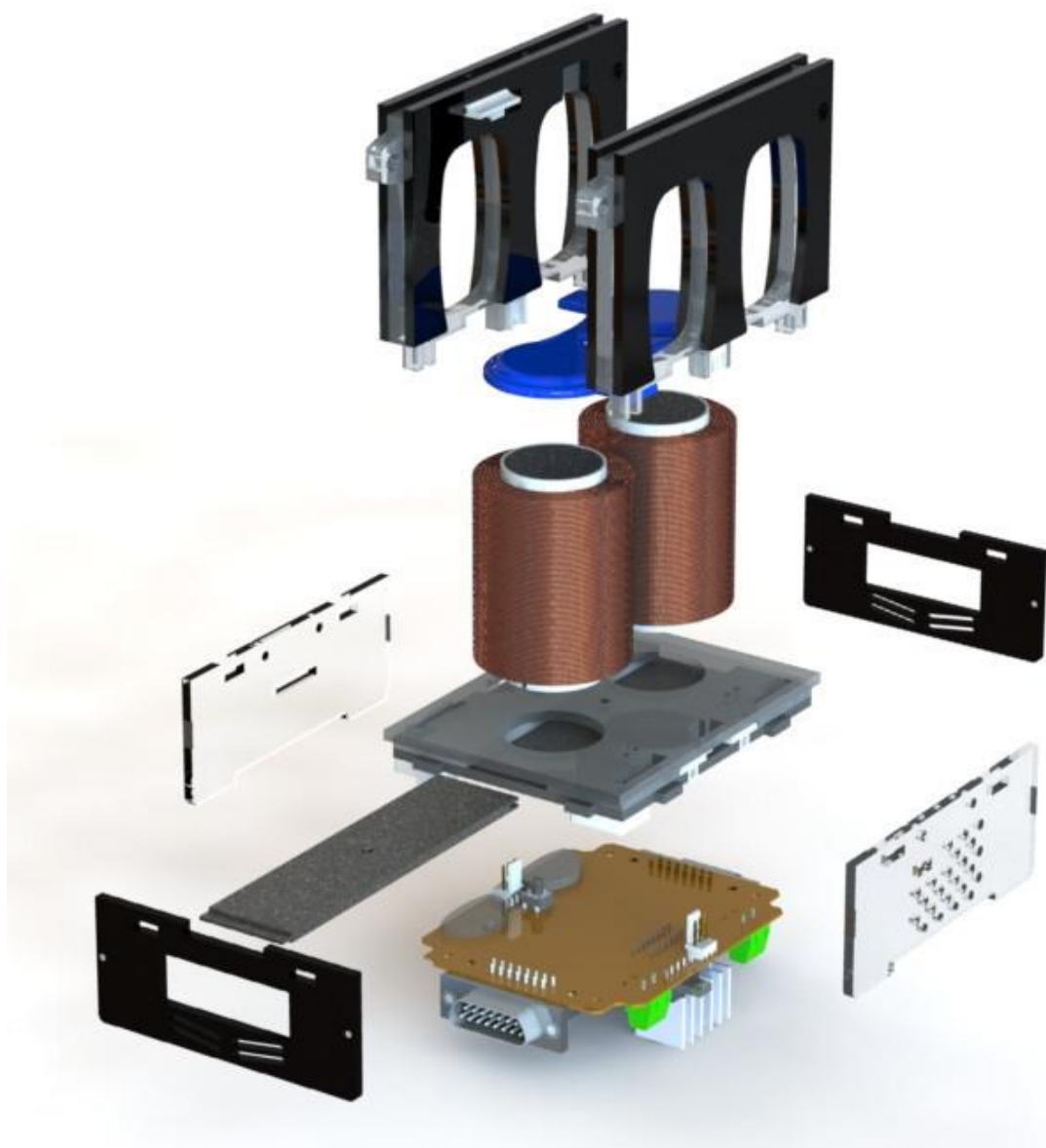
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 30 – Vista *top* e *bottom*, respectivamente, do modelo 3D da Placa Principal.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 31 – Visão geral do modelo 3D do Módulo Filho

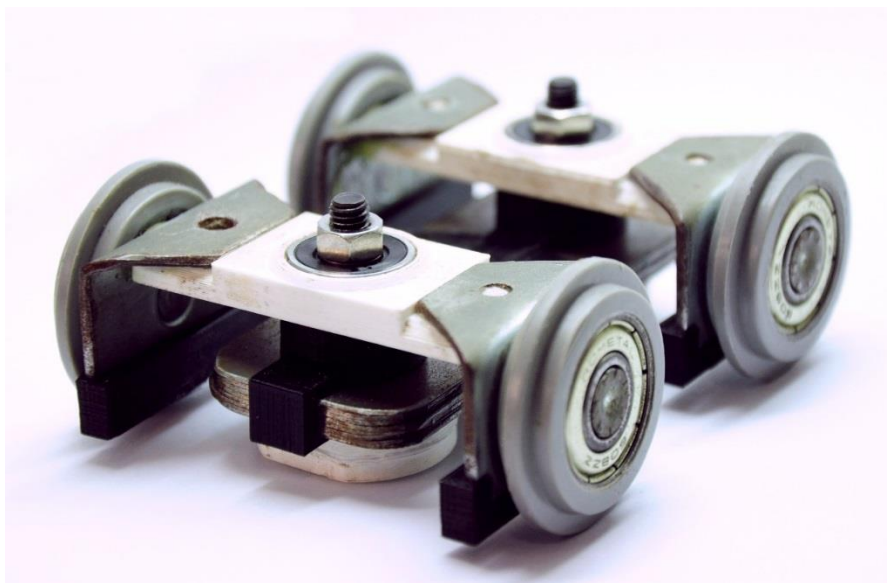


Fonte: Produção do próprio autor.

4.3 Confecção e Montagem

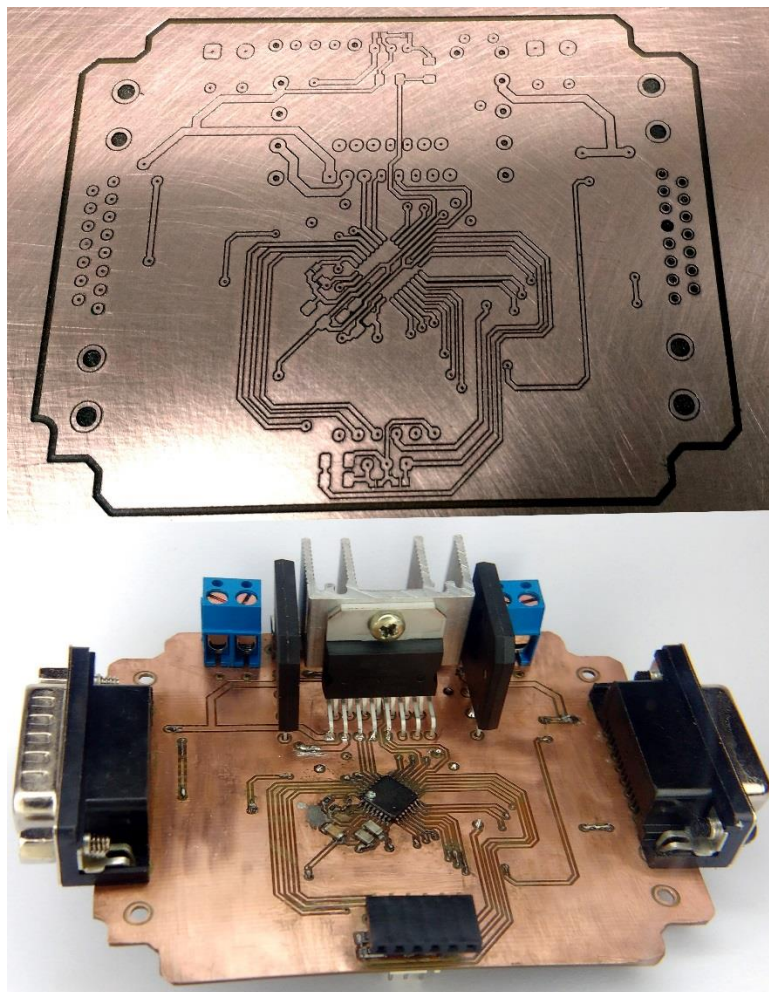
Essa seção apresenta o resultado da confecção e da montagem do Veículo Magnético e dos elementos que compõe o Módulo Filho, realizados a partir do desenvolvimento da modelagem mecânica em *software* 3D, elaborados no projeto executivo.

Figura 32 – Imagem real do Veículo Magnético



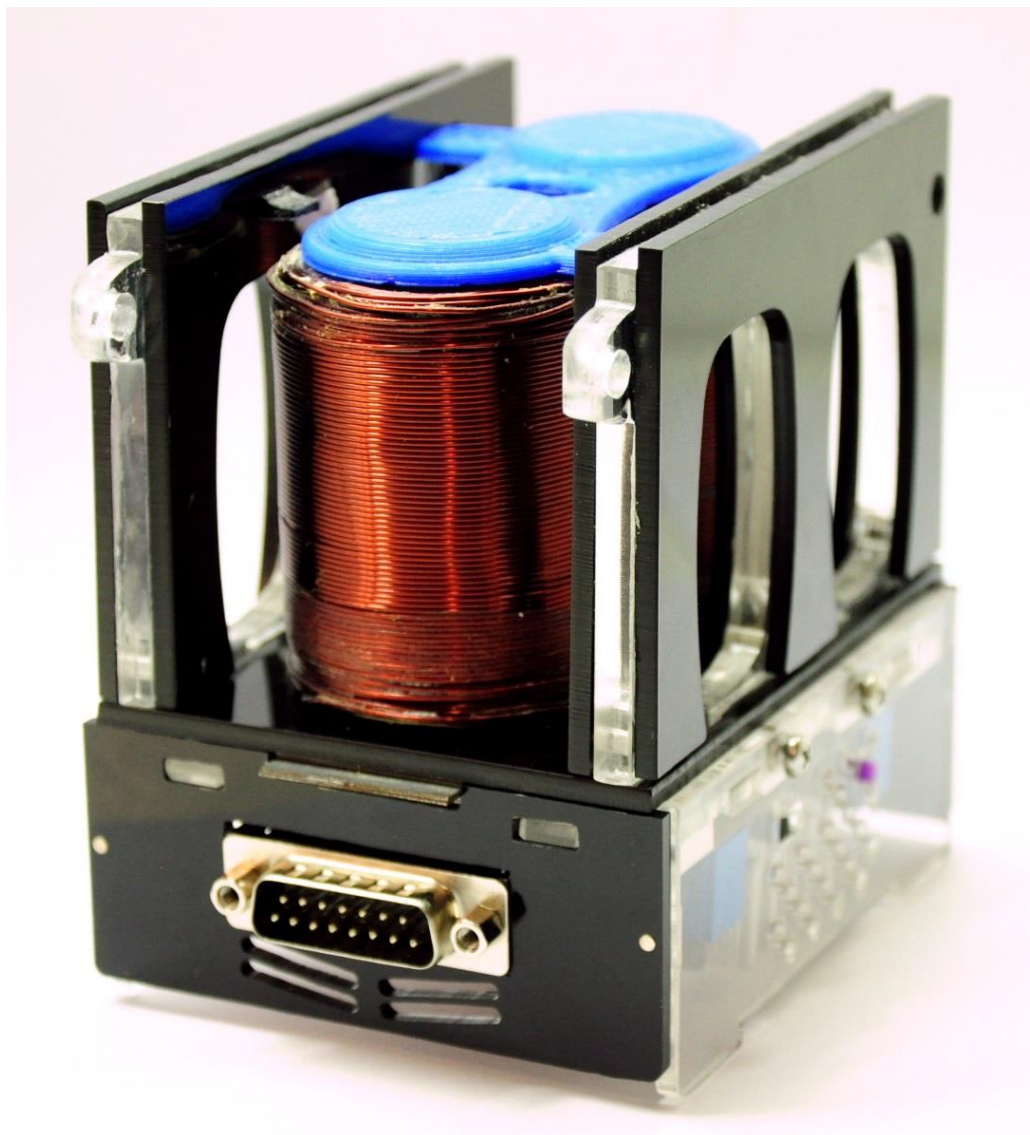
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 33 – Placa Principal do Módulo Filho vazia e montada, respectivamente



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 34 – Imagem real do Módulo Filho



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 35 – Montagem dos Módulos de Pista com o Veículo.



Fonte: Produção do próprio autor.

5 CONCLUSÃO

Os objetivos do trabalho foram alcançados. Durante o desenvolvimento do trabalho foi realizado melhorias na bobinadeira e aperfeiçoando no projeto como um todo e, satisfatoriamente culminaram na movimentação do veículo, mesmo este não fazendo parte do escopo do projeto.

A continuação desse trabalho se dará com o desenvolvimento e construção dos Módulos Master e Curvo, para a complementação do Kit Educacional; e com o desenvolvimento da Interface Gráfica, aplicação que fará conexão entre o PC e o Módulo Master, para envio e coleta de dados. A programação dos módulos de pista, que envolve o controle, acionamento e comunicação entre módulos, é sugerido para o desenvolvimento pelos estudantes de engenharia. Além disso, um caso de estudo pedagógico, com a elaboração de roteiros de laboratório e resultados obtidos, é desejável para ser realizado.

Assim, tem-se de forma didática a metodologia de construção de um autorama magnético modular que irá auxiliar no estudo e aprendizado dos estudantes de ciências e tecnologias, fomentando nestes alunos o interesse por desenvolvimento de novos projetos para soluções de problemas desafiadores. E, além disso, é disponibilizado um protótipo real de um motor linear de passo, cujo acionamento e controle opera com componentes eletrônicos de baixo custo e de fácil obtenção no mercado, acessível à estudantes, hobistas e a quem desejar reproduzir este projeto.

REFERÊNCIAS

CHEVAILLER, S. **Comparative study and selection criteria of linear Motors**. 2006, Tese (Doutorado em Ciências) – Programme Doctoral En Systèmes De Production Et Robotique, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2006.

COSTA, M. G. R. S.; NUNES, R. S.; MAIA, T. O. **Motor linear**. 2013. Trabalho da disciplina de Eletromagnetismo 2. Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

COSTA, M. G. R. S.; BERNABÉ, T. V. **Enrolador Linear de Bobinas Semi Automático**. 2014. Trabalho da disciplina de Projeto Orientado, Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

IDAGAWA, H. S. **Projeto, Montagem e Caracterização de Motor Linear de Imã Permanente**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

LEITE, J. F.; HENRIQUE, A. S.; BORBA, A. H. D. **Motor Linear**. 2012. Trabalho da disciplina de Eletromagnetismo 2. Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

MILHOMEN, R. L.; BAYMA, R. S.; SILVA, C. D.; CASTRO, A. M. **Desenvolvimento de um Protótipo Didático de Levitação Magnética**. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, COBENGE, 2009, Recife. Disponível em: <http://107.161.183.146/~abengeorg/cobenges-anteriores/2009/artigos-2009/artigos-publicados_11>. Acesso em: 05 out 2017.

PONTES, B. C.; SILVA, J. M. S.; JOSÉ, V. **Motor linear**. 2011. Trabalho da disciplina de Eletromagnetismo 2. Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

SEN, P. C. **Principles of Electric Machines and Power Electronics**. 2nd ed. United States: John Wiley & Sons, 2013.

SMAILI, A.; MRAD, F. **Mechatronics**: Integrated Technologies for Intelligent Machines. Indian ed. New York: Oxford University Press Inc, 2008. Cap 11.

SPINASSÉ, C. **Tração linear**: Desenvolvimento de um protótipo em pequena escala de um motor linear. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Colegiado do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

BIBLIOGRAFIA

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas**. 6ª ed. Porto Alegre: Bookman. 2006.

LILENKAMP, K. A.; LUDENBERG, K. **Low Cost Magnetic Levitation Project Kits For Teaching Feedback System Design**. 2004. American Control Conference.

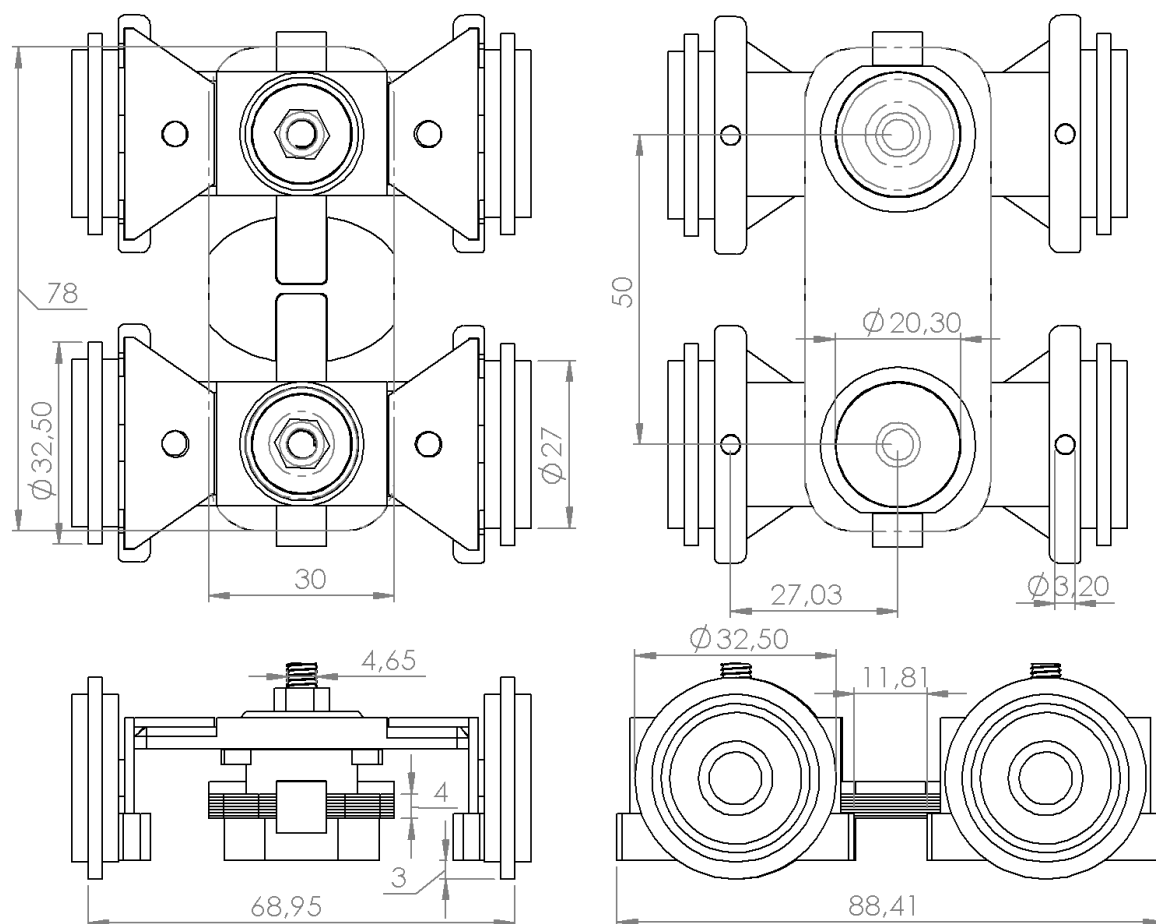
SADIKU, M. N. O. **Elementos de eletromagnetismo**. 5ª edição. Porto Alegre: Bookman. 2012.

TEIXEIRA, R. B. **Desenvolvimento de um Protótipo Didático para Ensino e Pesquisa. Sistema de Levitação Magnética, MAGLEV**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso, (Graduação em Engenharia Elétrica). Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém.

Apêndice A – Veículo Magnético

As especificações técnicas do Veículo Magnético são apresentadas na Figura 36.

Figura 36 – Desenho técnico do Veículo Magnético



Fonte: Produção do próprio autor.

O Quadro 1 apresenta a lista de materiais do veículo.

Quadro 1 – Lista de Materiais do Veículo

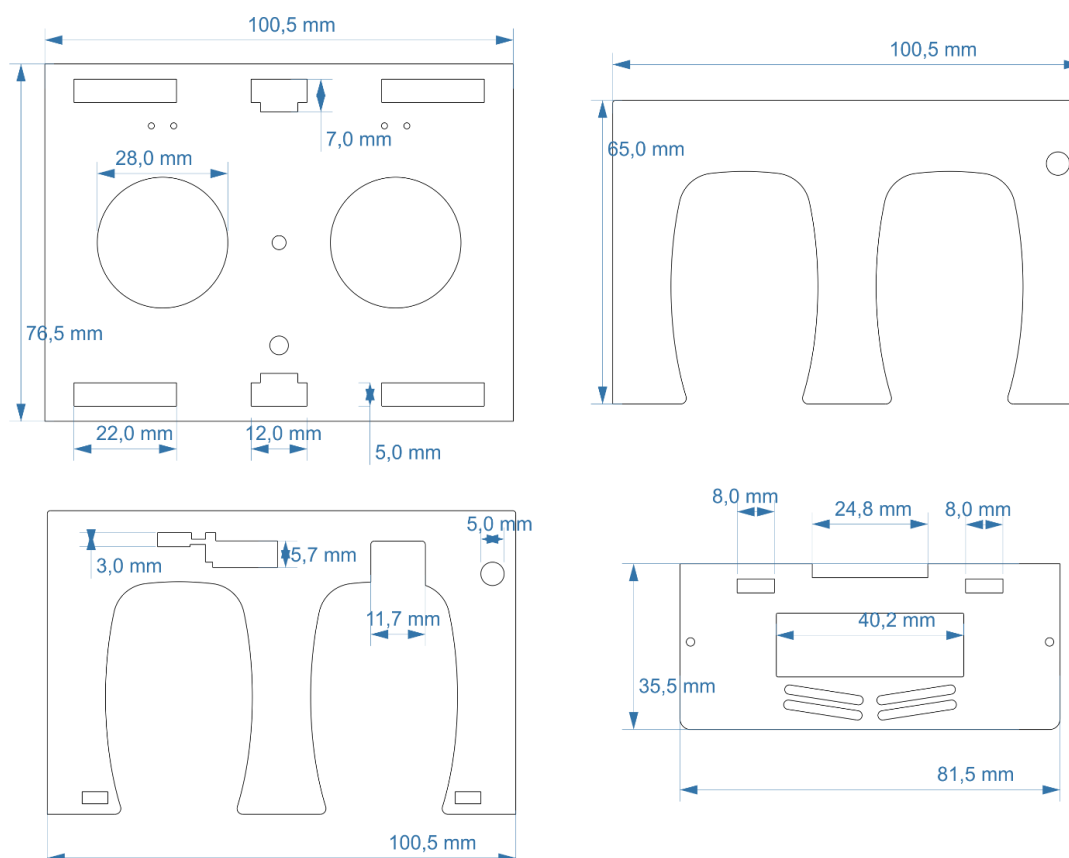
Lista de Materiais	
Veículo	Conjunto de rodas RO-23
	Chapas de aço Silício 70x30x0,5mm
	Parafuso M5x25mm
	Rolamento EZ625
	Imã de neodímio disco N35 20x3mm
	Imã de neodímio cilíndrico N35 3x3mm
	Peças de impressão 3D

Fonte: Produção do próprio autor.

Apêndice B – Estrutura do Módulo Filho

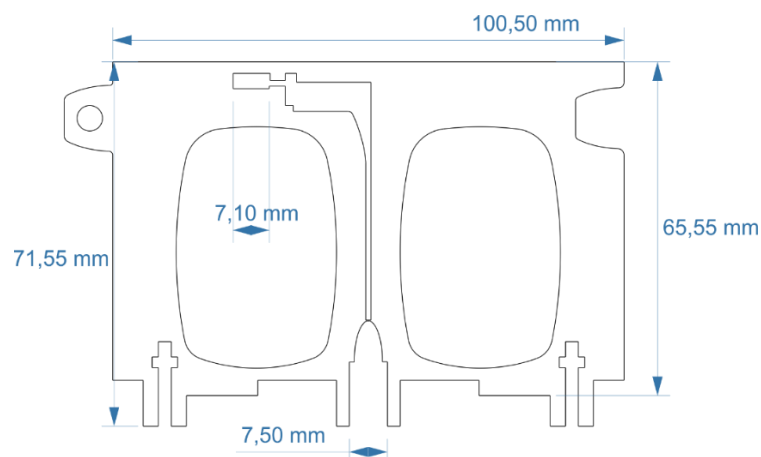
Os desenhos vetoriais das peças em acrílico da Estrutura do Módulo Filho são apresentadas em Figura 37, Figura 38 e Figura 39.

Figura 37 – Desenho vetorial das peças com 3mm de espessura na cor preta



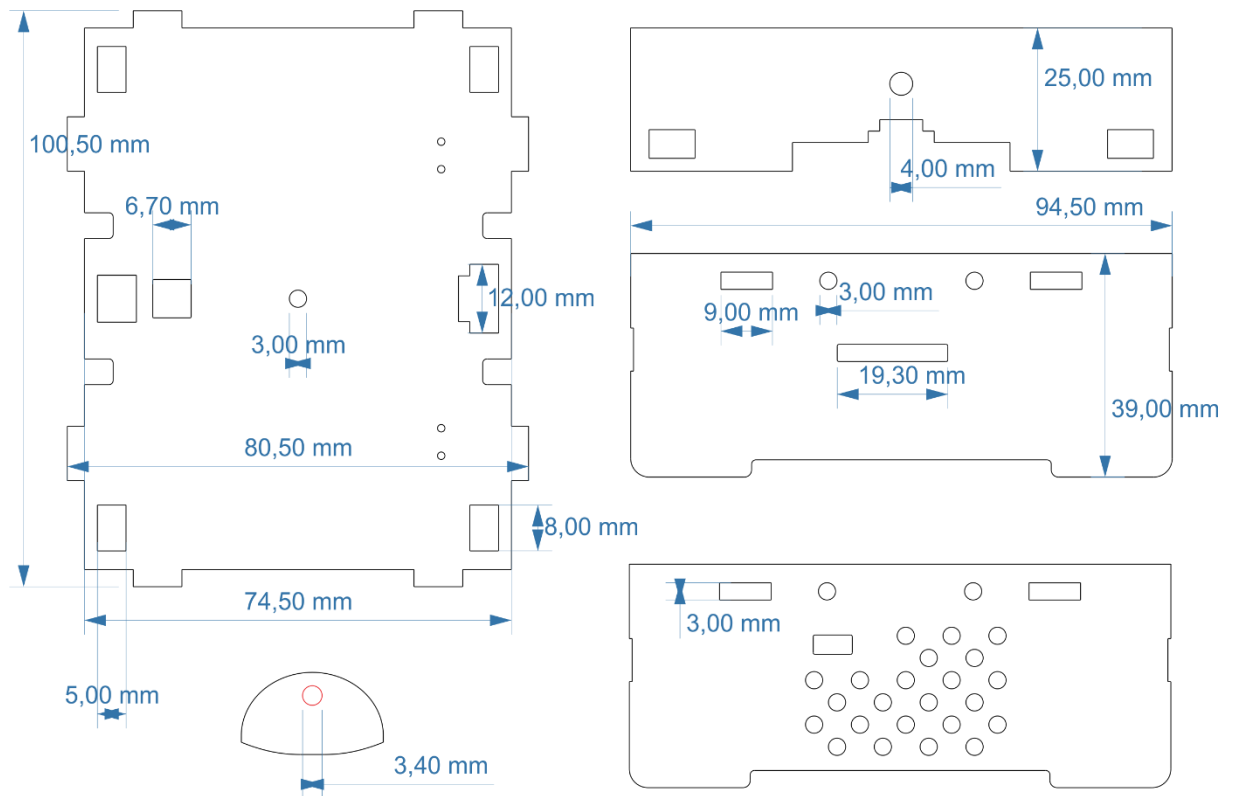
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 38 – Desenho vetorial da peça com 5mm de espessura na cor transparente



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 39 – Desenho vetorial das peças com 3mm de espessura na cor transparente



Fonte: Produção do próprio autor.

Apêndice C – Módulo do sensor de posição

As informações da Quadro 2 apresentam as características do sensor de efeito Hall utilizado nesse projeto.

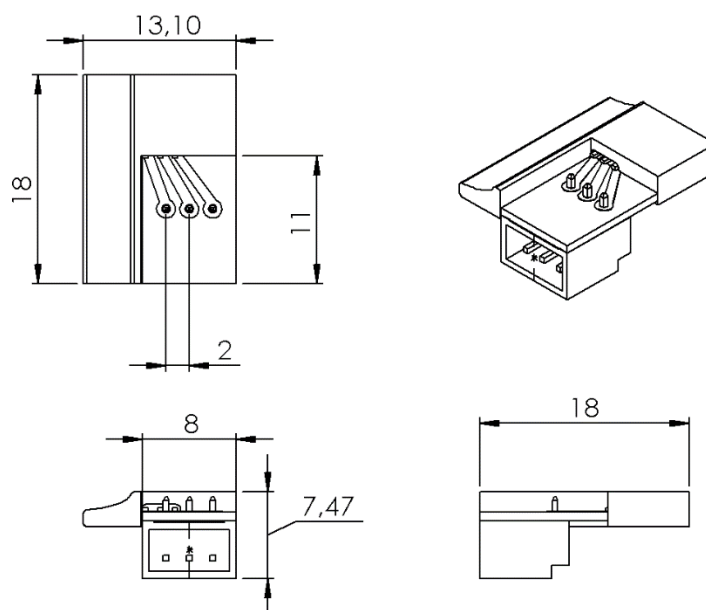
Quadro 2 – Informações técnicas do sensor de efeito Hall.

Características do Sensor Hall	
Referência	595-DRV5053OA
Tipo	Analógico
Tensão de Operação	2,5 a 38V
Encapsulamento	QLPG 3-TO-92
Campo de Saturação	73 mT

Fonte: Produção do próprio autor.

O desenho técnico do módulo do sensor pode está ilustrado na Figura 42, a seguir.

Figura 40 – Desenho técnico do módulo do sensor de posição

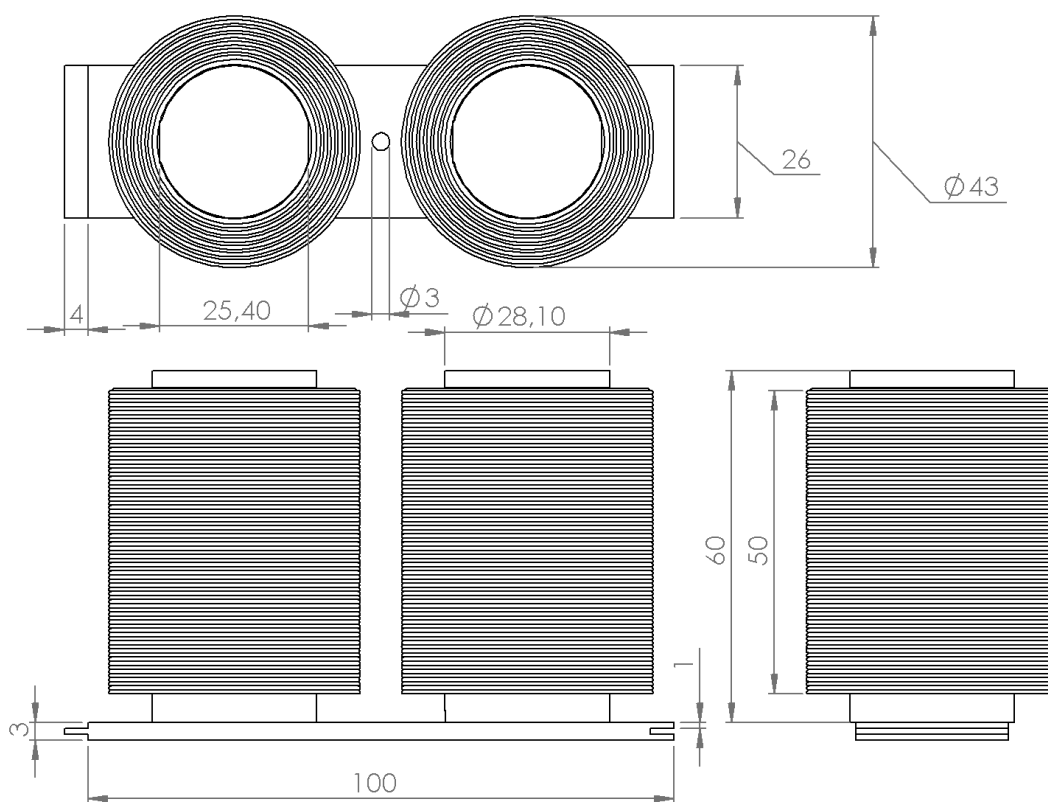


Fonte: Produção do próprio autor.

Apêndice D – Circuito Magnético

A Figura 41, a seguir, apresenta as vistas do Circuito Magnético com as dimensões técnicas do mesmo.

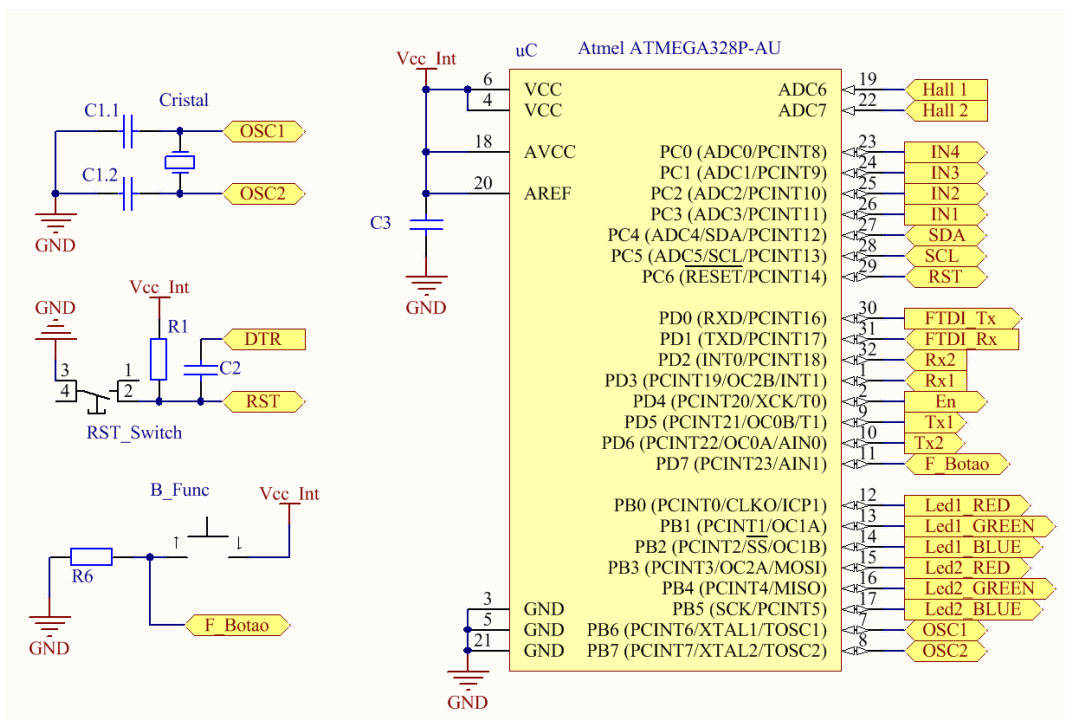
Figura 41 – Desenho técnico do Circuito Magnético do Módulo Filho



Fonte: Produção do próprio autor.

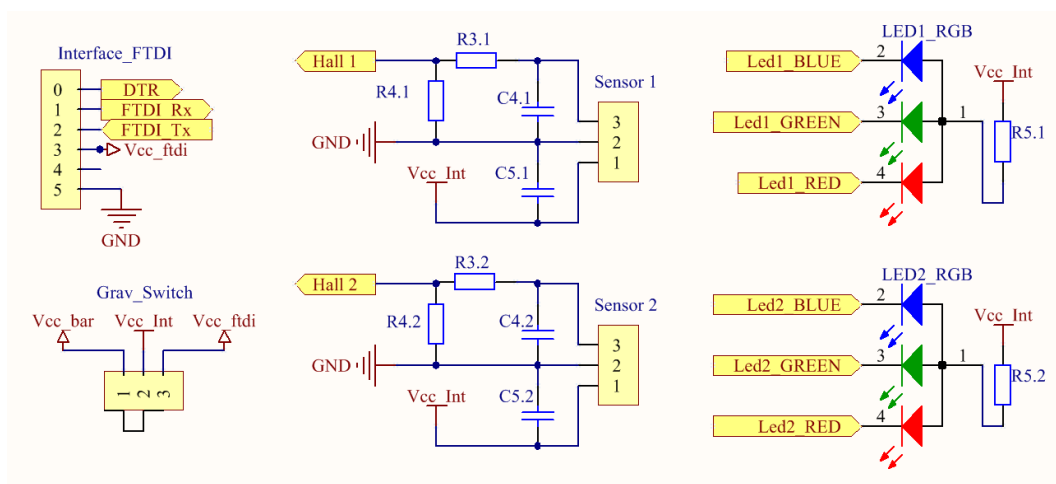
Apêndice E – Circuito Esquemático da Placa Principal

Figura 42 – Circuito Esquemático da Placa Principal – parte 1



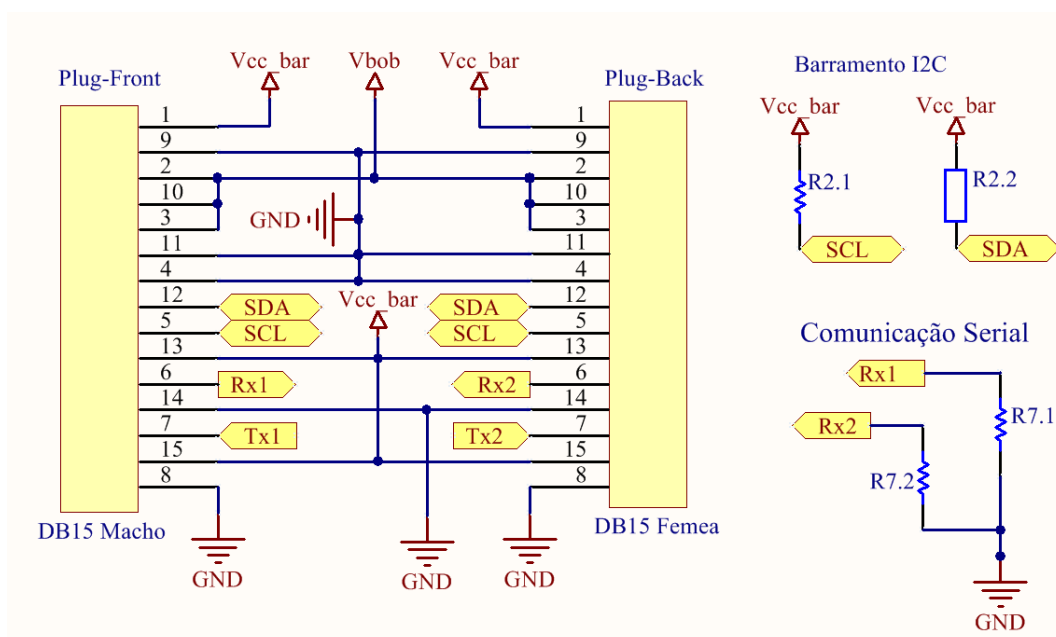
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 43 – Circuito Esquemático da Placa Principal – parte 2



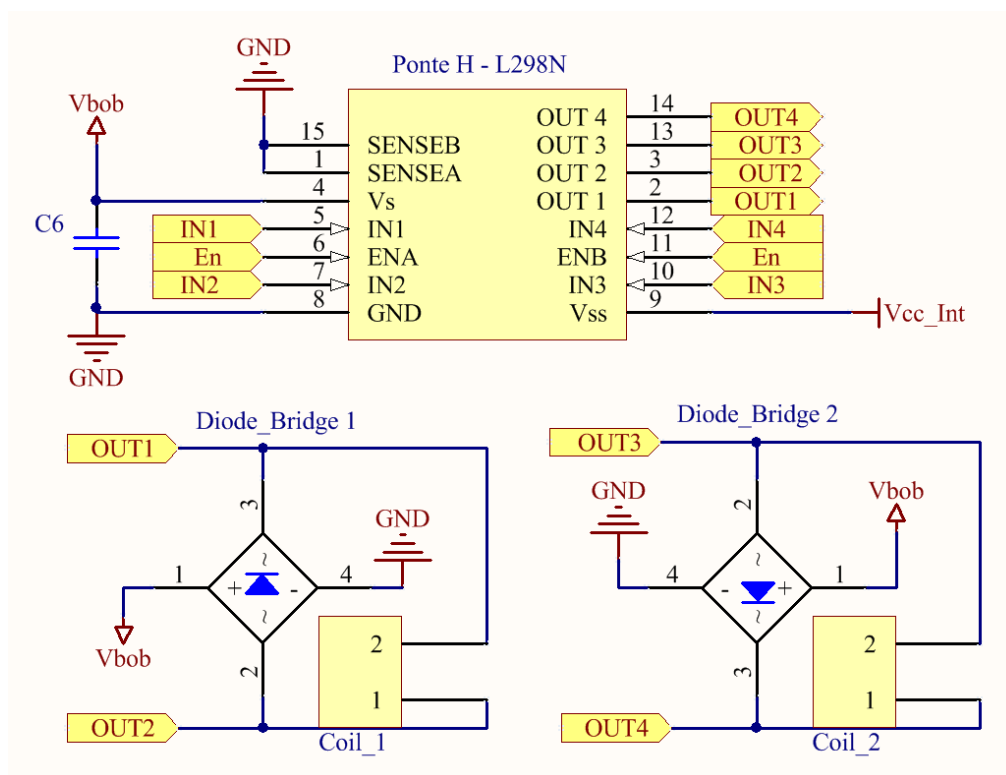
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 44 – Circuito Esquemático da Placa Principal – parte 3



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 45 – Circuito Esquemático da Placa Principal – parte 4



Fonte: Produção do próprio autor.