

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA E MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

RAFAEL GARCIA DALMAS
VINICIUS PEREIRA NOGUEIRA E SILVA

**DISPOSITIVO AUTOMÁTICO PARA PASSAGEM DE ESCOVÃO EM
QUADRAS DE TÊNIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

RAFAEL GARCIA DALMAS
VINICIUS PEREIRA NOGUEIRA E SILVA

**DISPOSITIVO AUTOMÁTICO PARA PASSAGEM DE ESCOVÃO EM QUADRAS
DE TÊNIS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN – e Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. João Almeida de Góis

Co-orientador: Prof. Celso Salamon

CURITIBA

2013

RAFAEL GARCIA DALMAS

VINICIUS PEREIRA NOGUEIRA E SILVA

DISPOSITIVO AUTOMÁTICO PARA PASSAGEM DE ESCOVÃO EM QUADRAS DE TÊNIS

Este trabalho de diplomação foi apresentado no dia 20 de Fevereiro de 2013, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O(s) aluno(s) foi(ram) arguido(s) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Milton Luiz Polli
Coordenador de Curso
Departamento Acadêmico de Mecânica

Prof. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Diplomação
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. João Almeida de Góis
Orientador

Prof. Celso Salamon
Co-orientador

Prof. Valmir de Oliveira

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedicado a todos aqueles que contribuíram de forma direta e indireta para que esse projeto fosse concluído de acordo com o planejado.

Para todos que acreditam na propagação do conhecimento como meio de transformação da sociedade.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento aos pais e familiares que compartilharam os momentos de dificuldade e também contribuíram com críticas que ajudaram a modelar o projeto, mesmo nos momentos onde as possibilidades eram inexistentes.

Aos professores da UTFPR que disponibilizaram tempo para discutir e avaliar o projeto em todas as suas fases. Ao professor orientador João Almeida de Góis e professor co-orientador Celso Salamon, que tiveram importância fundamental na evolução do projeto, contribuindo com ideias e despertando a vontade de sempre buscar novos conhecimentos.

À todos os colegas, que durante todo o período do curso, prestaram companhia e serviram de motivação para buscar sempre excelência nos resultados.

(...) The joy of life comes from our encounters with new experiences and hence there is no greater joy than to have an endlessly changing horizon, for each day to have a new and different sun. (KRAKAUER, 1996, p. 57).

(...) A felicidade da vida vem dos nossos encontros com novas experiências e, portanto, não há maior felicidade que possuir sempre um novo horizonte, para cada dia, um novo e diferente sol. (KRAKAUER, 1996, p. 57).

RESUMO

SILVA, Vinicius; DALMAS, Rafael. **Dispositivo automático para passagem de Escovão em Quadras de Tênis**. 2013. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.)

Este projeto tem como objetivo desenvolver um protótipo para testar as principais funcionalidades de um dispositivo móvel capaz de percorrer uma trajetória específica dentro de uma quadra de tênis, efetuando automaticamente a operação de uniformizar a superfície da quadra. O dispositivo deve ser capaz de se posicionar automaticamente durante toda a operação, exceto durante o posicionamento inicial. Para esse fim, foi utilizado um microcontrolador da família PIC, sensores optoacopladores e motores de corrente contínua para permitir o deslocamento. O processo de integração e testes consistiu no desenvolvimento de uma estrutura metálica como base, bem como mecanismos responsáveis pelas funcionalidades do dispositivo. O processo de testes concluiu a eficiência do sistema mecânico, bem como a integração dos componentes de acionamento e controle, cujo desempenho pode ser melhorado através de um estudo e aplicação de um sistema em malha fechada para controle da velocidade dos motores.

Palavras-chave: Veículo auto-guiado. Motor de Corrente Contínua. PIC. Microcontrolador. Transistor Darlington. PWM. Optoacoplador. Tênis.

ABSTRACT

SILVA, Vinicius; DALMAS, Rafael. **Automatic device for passage of scrubbing brush in Tennis Courts**. 2013. 59 p. Monograph (Degree in Industrial Technology in Mechatronics, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2013.)

This project aims to develop a prototype to test the main functionalities of a mobile device able to traverse a specific path within a tennis court, automatically performing the operation of cleaning the court surface. The device must be able to position itself automatically throughout the transaction except during the initial placement. For that purpose is used a PIC microcontroller family, Optocoupler sensors and DC motors to enable displacement. The process of integration and testing was the development of a metallic structure as a base and mechanisms responsible for the features of the device. The testing process has completed the mechanical efficiency of the system as well as the integration of drive components and control, whose performance can be improved through a study and implementation of a closed loop system to control the motors speed.

Keywords: Self-guided vehicle. Direct Current Motor. PIC. Microcontroller. Darlington Transistor. PWM. Optocoupler. Tennis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trajetória pré-definida do dispositivo dentro da quadra (Unidade: mm).....	15
Figura 2 - Etapas de desenvolvimento do projeto	18
Figura 3 - Esquema de ligação em série de um motor de corrente contínua.....	20
Figura 4 - Esquema de ligação em paralelo de um motor de corrente contínua.....	21
Figura 5 - Arquitetura interna mínima de um microcontrolador	21
Figura 6 - Mapa da Memória de Programa do microcontrolador PIC 16F628A	23
Figura 7 - Configuração padrão dos transistores Darlington.....	24
Figura 8 - Circuito básico contendo interruptor e carga.....	25
Figura 9 - Conjunto de pulsos que determinam o ciclo de trabalho e frequência de controle .	25
Figura 10 - Exemplo de Bateria e seus pólos	26
Figura 11 - Transmissão por polias	27
Figura 12 - Molas de Compressão.....	28
Figura 13 - Molas de tração.....	29
Figura 14 - Molas de torção.....	29
Figura 15 - Mancal de deslizamento.....	30
Figura 16 - Mancal de rolamento	30
Figura 17 - Rolamento fixo de uma carreira.....	31
Figura 18 - Chaveta plana.....	32
Figura 19 - Escovão para quadra de tênis.....	33
Figura 20 - Esquemático do <i>hardware</i> de desenvolvimento PICDEM FS-USB	36
Figura 21 - Esquemático do <i>hardware</i> de potência.....	37
Figura 22 - Leiaute PCB do <i>hardware</i> de potência	38
Figura 23 - Esquemático do <i>hardware</i> de interface	38
Figura 24 - Leiaute PCB do <i>hardware</i> de interface.....	39
Figura 25 - Bateria modelo UP1270E utilizada no projeto	40
Figura 26 - Motoredutor tipo CEP / Fabricante Bosch utilizado no projeto	40
Figura 27 - Estrutura base dos componentes	41
Figura 28 - Roda R 62 PN E utilizada no projeto.....	42
Figura 29 - Conjunto de acionamento	42
Figura 30 - Conjunto fixação da roda movida.....	43
Figura 31 - Braço elevação escova.....	44
Figura 32 - Suporte escova e sistema para movimentação manual	45
Figura 33 - Suporte escova e sistema para movimentação manual	45
Figura 34 - Posicionamento placas e bateria	46
Figura 35 - Representação do circuito modificado contendo o Schmitt Trigger.....	47
Figura 36 - Comparação entre trajetórias do dispositivo.....	47
Figura 37 - Alteração suporte roda dianteira	48
Figura 38 - Fim de curso desenvolvido para evitar interferência.....	49
Figura 39 - Sistema de acionamento dos motores através de polias (projeto inicial)	49
Figura 40 - Sistema de acionamento dos motores direto no eixo (projeto modificado).....	50
Figura 41 - Rodízio desenvolvido para permitir deslocamento manual.....	50
Figura 42 - Esquema de troca de informações entre dispositivo e balizas.....	53
Figura 43 - Fluxograma da utilização de painéis solares para alimentação do circuito	54
Figura 44 - Dispositivo sendo deslocado manualmente até a posição inicial	57
Figura 45 - Vista isométrica do dispositivo em seu projeto inicial e final	57

LISTA DE ACRÔNIMOS E SIGLAS

PIC - Controlador de interface periférica (do original Peripheral Interface Controller)

LCD - Display de Cristal líquido (do original Liquid Crystal Display)

CC - Corrente Contínua

PWM - Modulação de largura de pulso (do original Pulse Width Modulation)

USB - Barramento serial universal (do original Universal Serial Bus)

CAD - Desenho assistido por computador (do original Computer Aided Design)

Mosfet - Transistor de efeito de campo metal óxido semicondutor (do original Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

Opcode - Código de operação (do original Operation Code)

Cisc - Computador com conjunto complexo de instruções (do original Complex Instruction Set Computer)

Risc - Computador com conjunto reduzido de instruções (do original Reduced Instruction Set Computing)

Eprom - Memória programável apagável de somente leitura (do original Erasable Programmable Read Only Memory)

RAM - Memória de acesso aleatório (do original Random Access Memory)

PCB - Placa de circuito impresso (do original Printed Circuit Board)

SFR - Special Function Register

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	PROBLEMA.....	13
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
1.4	MÉTODO DE PESQUISA.....	15
1.5	ANÁLISE DE RISCO	18
1.5.1	Microcontrolador.....	18
1.5.2	Transistores de Potência.....	19
1.5.3	Estrutura Mecânica.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA	20
2.2	MICROCONTROLADORES	21
2.2.1	Microcontrolador PIC	22
2.3	TRANSISTORES DARLINGTON	24
2.4	MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO (PWM).....	24
2.5	BATERIAS.....	26
2.6	ELEMENTOS DE MÁQUINAS.....	27
2.6.1	Polias	27
2.6.2	Molas.....	28
2.6.3	Mancais rolamentos.....	29
2.6.4	Chavetas	31
2.6.5	<i>Encoder</i>	32
2.6.6	Escova	33
3	DESENVOLVIMENTO E TESTES.....	34
3.1	<i>HARDWARE E SOFTWARE</i>	34
3.1.1	Ambiente de Programação	34
3.1.2	Lógica do <i>Firmware</i>	34
3.1.3	<i>Hardware</i> de Desenvolvimento	35
3.1.4	<i>Hardware</i> de Potência.....	36
3.1.5	<i>Hardware</i> de Interface	38
3.1.6	Controle dos Motores – Técnica PWM.....	39
3.2	INTEGRAÇÃO MECÂNICA	41
3.2.1	Estrutura base dos componentes	41
3.2.2	Conjunto de acionamento.....	41
3.2.3	Conjunto fixação roda movida.....	43
3.2.4	Suporte escova e sistema para movimentação manual.....	43
3.2.5	Montagem final componentes	45
3.3	TESTES E RESULTADOS.....	46
3.3.1	Eletrônica e Controle.....	46
3.3.2	Mecânica	48
4	CONCLUSÃO.....	51
5	IMPLEMENTAÇÕES FUTURAS	52
	REFERÊNCIAS	55

APÊNDICE A - COMPARAÇÃO ENTRE PROJETO INICIAL E FINAL	57
APÊNDICE B - DIAGRAMA DO <i>FIRMWARE</i> DESENVOLVIDO.....	58
APÊNDICE C - DIAGRAMA ELÉTRICO	59

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Fontoura (2003, p. 13) não é possível precisar a origem do tênis, esse esporte que hoje fascina milhões de pessoas de todas as idades em todo o mundo. Alguns creem que o tênis atual surgiu de uma variante de diversos jogos com bola praticados pelos egípcios, gregos e romanos. Um desses jogos, o *harpastum* romano, adaptado pelos bascos com o nome de *jeu de la paune* (jogo da palma), até hoje muito popular na Espanha, pode ser considerado o avô do tênis.

Segundo Carta e Marcher (2004, p. 11) nos anos 50 e 40 o tênis não possuía uma grande popularidade no Brasil, sendo visto como esporte da elite localizada entre o eixo Niterói-São Paulo-Porto Alegre. A maior parcela dos brasileiros se interessava mais pelo futebol e as atuações da seleção Canarinho. Esse fato pode ser justificado pela quantidade pequena e o alto preço dos clubes para a prática do esporte. Quadras públicas não existiam na época e ainda hoje são escassas.

O saibro, também conhecido por “terra batida”, pode ser feito de pó de tijolo (cor avermelhada) ou de pó de pedra, (conhecido por “har-tru”, de cor acinzentada). São muito populares na Europa e na América do Sul. As quadras de saibro são as que provocam um jogo mais lento, pois as partículas de terra diminuem um pouco a velocidade da bola. Esse jogo mais lento, beneficia os jogadores menos agressivos que ficam mais tempo batendo bolas do fundo da quadra. Os pontos são bem mais longos. E estas mesmas partículas de terra fazem com que a movimentação dos jogadores não seja muito precisa, provocando escorregões o tempo todo. Estes escorregões favorecem os jogadores que tem uma estatura menor (um centro de gravidade mais baixo), pois são bem mais rápidos na movimentação ao mudar de direção (TELLA, 2013, p. 1).

Como proposta para o trabalho de diplomação foi desenvolvido, implementado e demonstrado o funcionamento de um dispositivo automático para a passagem do escovão em quadras de tênis. Utilizando a integração entre sensores, circuitos integrados, atuadores e outros componentes utilizados em sistemas automatizados foi possível construir um equipamento robusto e confiável.

1.1 PROBLEMA

Necessidade de uma superfície uniforme em quadras de saibro para a prática do tênis.

1.2 JUSTIFICATIVA

A passagem do escovão é um procedimento que se possível deve ser repetido após cada jogo, pois o quique da bola e o contato dos tênis dos jogadores com a quadra faz com que o pó de tijolo se desloque deixando “buracos” no piso. Esses desníveis na superfície da quadra além de atrapalhar a movimentação dos atletas, quando atingidos pela bola podem modificar seu curso.

Nesse contexto o desenvolvimento de um dispositivo automatizado para a passagem de escovão se torna uma realidade, suprimindo a necessidade de uma superfície regular para a prática do esporte.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver o protótipo de um dispositivo automático, auto guiado, para passagem de escovão em quadras de tênis.

1.3.2 Objetivos Específicos

Projetar e desenvolver o protótipo de um dispositivo móvel que ao ser colocado em uma posição inicial dentro da quadra de tênis, percorra de maneira autônoma uma trajetória pré-definida, realizando uma operação de uniformização da superfície de toda a área necessária da quadra.

Testar a integração e comportamento dos sistemas mecânicos e eletrônicos propostos a serem desenvolvidos, de maneira que suas funções sejam executadas corretamente, validando assim o funcionamento do dispositivo como um todo.

Os seguintes sistemas são componentes do dispositivo:

- Sistema mecânico para movimentação do dispositivo, que irá transmitir o movimento do motor CC para as rodas através de duas polias interligadas a uma correia sincronizada.
- Sistema mecânico capaz de elevar o escovão quando o equipamento estiver desligado para facilitar a movimentação e abaixá-lo pressionando contra a superfície da quadra quando o equipamento estiver funcionando.
- Sistema de acionamento dos motores CC, composto por um *hardware* que utiliza transistores para o chaveamento das bobinas.

- Sistema de controle utilizando um microcontrolador PIC 18F4550, o qual é responsável pela interligação dos componentes do dispositivo.
- Sistema eletrônico para posicionamento do dispositivo na quadra (*encoder*), instalado no eixo da roda responsável por medir a distância percorrida pelo dispositivo permitindo ao microcontrolador calcular sua posição na quadra. O dispositivo deverá ser levado a uma posição inicial, e a partir dessa posição, irá realizar uma trajetória pré-definida, de acordo com a figura 1. Quando finalizar toda a trajetória, irá retornar para a posição inicial, aguardando novas instruções do usuário. A eficiência de cada passada é garantida pelo cálculo da distância entre cada linha da trajetória, considerando também que a vassoura utilizada na uniformização tem um comprimento pré-definido. Assim, é possível programar a trajetória do dispositivo para que todas as passadas sejam totalmente efetivas.

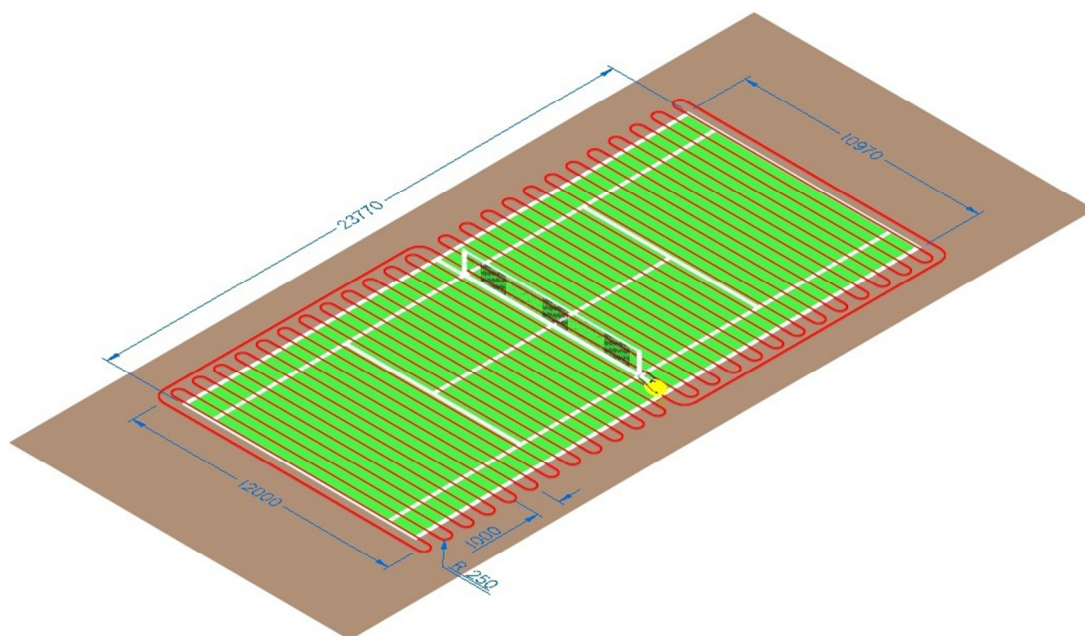


Figura 1 - Trajetória pré-definida do dispositivo dentro da quadra (Unidade: mm)
Fonte: Aatoria Própria (2013).

1.4 MÉTODO DE PESQUISA

O pré-projeto tem como objetivo planejar, projetar, implementar e demonstrar as principais funcionalidades do protótipo de um dispositivo automático para passagem de escovão em quadras de tênis. As etapas de desenvolvimento do projeto são as seguintes (simplificadas também na figura 2):

- **Definição da estrutura mecânica:** Para a construção mecânica, foi projetada uma estrutura em chapa metálica que possui na parte superior o suporte para fixação dos motores, esticador para as correias e a base para a bateria. Na parte inferior foi projetada a fixação para os mancais de rolamento onde serão fixadas as rodas. Na parte inferior traseira da estrutura foi desenvolvido um suporte para a fixação do escovão, permitindo ajuste do ângulo de inclinação, elevando e baixando o mesmo. Para facilitar a movimentação do equipamento foi projetado um braço tubular que permitiu empurrar o dispositivo de maneira ergonômica.

- **Aquisição do material necessário:** Após o detalhamento do projeto mecânico, realizado em um *software* CAD 3D, foi gerada uma lista de componentes necessários para a montagem. Através desta lista, foram realizadas cotações para a aquisição dos itens fabricados e para os que serão comprados. Com os orçamentos em mãos, foram definidos os fornecedores, levando em conta o custo e prazo de entrega. Com os fornecedores definidos todos os materiais necessários foram adquiridos.

- **Definição do microcontrolador e *drivers* de potência:** Inicialmente foi definido o microcontrolador da família PIC mais adequado para o controle do projeto. Foi necessário um microcontrolador com uma quantidade considerável de entradas e saídas digitais, bem como se possível, um módulo PWM para o chaveamento dos *drivers* de potência. Importante também que o microcontrolador oferecesse programação através de meios viáveis, como por exemplo, a porta USB encontrada em praticamente todos os computadores. Em relação aos *drivers* de potência, foram escolhidos transistores de potência para a aplicação de acordo com a corrente exigida pelos motores de corrente contínua em pleno funcionamento do dispositivo.

- **Desenvolvimento do *firmware* para testes:** Após a definição do microcontrolador, foi iniciado o desenvolvimento de um código fonte básico para teste das funções básicas que foram necessárias no código fonte definitivo. Existiu também a necessidade de escolha de um ambiente de programação adequado compatível com o microcontrolador escolhido, da mesma maneira que foi necessária a escolha de uma linguagem de programação para o desenvolvimento do código.

- **Testes iniciais com o *hardware* e *firmware* no *proto-board*:** Com o *firmware* para testes concluído, ocorreu a realização dos primeiros testes em *proto-board*. Esses testes iniciais têm o objetivo de encontrar eventuais falhas de projeto referentes ao código fonte utilizado, esquema de ligação entre componentes e testar a eficiência dos componentes

escolhidos (*drivers* de potência). Foram integrados todos esses componentes no *proto-board*, garantindo que o leiaute das ligações entre os componentes fosse o mesmo definido através de estudos e simulações em *software* (*software* Proteus foi utilizado para esse fim). Ocorreram acionamentos simultâneos dos motores e foi medida a corrente máxima através da simulação de uma carga sendo aplicada no eixo. Ao mesmo tempo, foi monitorada a temperatura nos *drivers* de potência, de maneira que fosse possível verificar se a corrente máxima nominal é suficiente para a aplicação.

- **Desenvolvimento do *hardware* definitivo para microcontrolador e *drivers* de potência:** Com a efetivação dos *drivers* de potência escolhidos e microcontrolador, foram desenvolvidos os leiautes dos *hardwares* definitivos, parte integrante do dispositivo final. Para essa finalidade foi utilizado o *software* Eagle.

- **Montagem da estrutura mecânica parcial:** Para realização de testes no *hardware* e validação dos componentes mecânicos ocorreu uma pré-montagem do dispositivo. Foram montados no chassi o sistema de fixação do escovão e o sistema de movimentação do qual fazem parte as rodas e seus acionamentos.

- **Testes finais com o *hardware* definitivo, *firmware* e estrutura mecânica parcial:** Com a conclusão do *hardware* e *firmware*, foi realizado um teste com o propósito de integrar os componentes mecânicos. Nessa etapa, o conjunto mecânico não estava necessariamente completo, mas permitia a fixação do *hardware* final e chicotes elétricos para a comunicação com os periféricos, assim como o movimento do dispositivo para testes com os motores.

- **Montagem do dispositivo final:** Após passar pelos testes finais, cujo propósito foi a validação da integração dos sistemas mecânico e de controle (*hardware* e *firmware*), o protótipo estava em condições de realizar as funções propostas como objetivo principal.

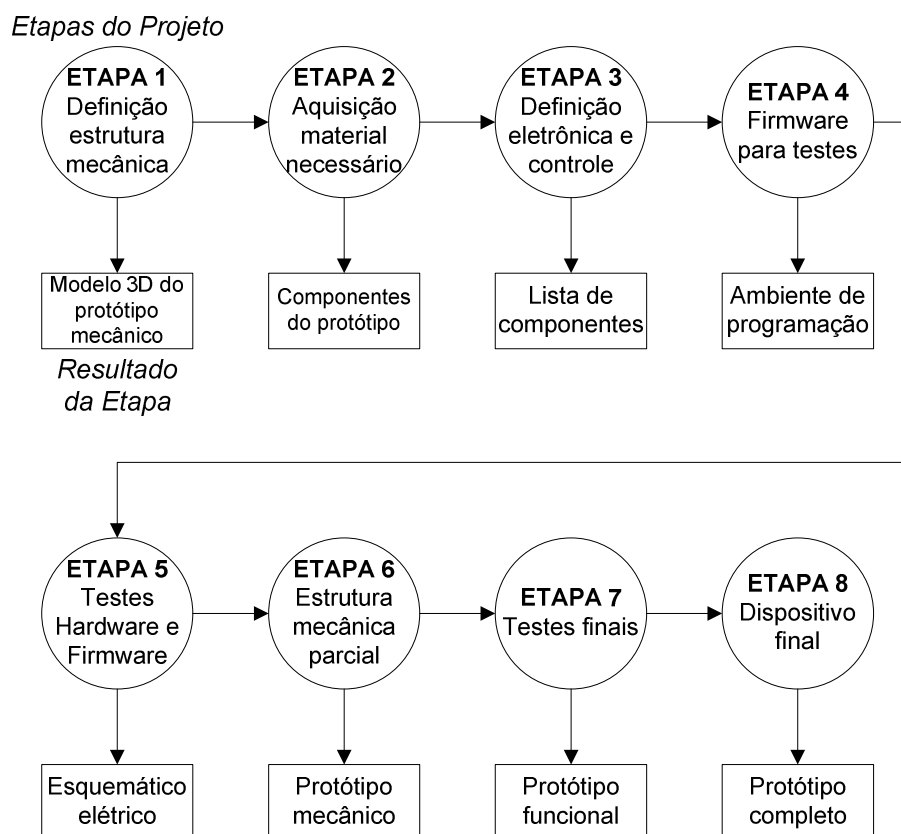


Figura 2 - Etapas de desenvolvimento do projeto
Fonte: Autoria Própria (2013).

1.5 ANÁLISE DE RISCO

Todo o projeto foi financiado pelos próprios alunos, desde a aquisição dos componentes eletrônicos até a fabricação dos componentes mecânicos da estrutura. Os materiais alternativos para alguns componentes são citados abaixo, considerando a possibilidade de uma eventual alteração no projeto no decorrer do seu desenvolvimento.

1.5.1 Microcontrolador

A alternativa para o microcontrolador 18F4550 da família PIC é um dispositivo da mesma família, ou uma família distinta (ATMEL, por exemplo) com características semelhantes e custo reduzido. Nesse caso, a funcionalidade da programação através da porta USB pode ser desconsiderada, e será utilizado um programador convencional que utiliza porta Serial. Outra alternativa também viável seria a utilização de CLP (Controlador Lógico Programável), que possui um custo mais elevado mas é mais robusto se comparado com o microcontrolador.

1.5.2 Transistores de Potência

Uma alternativa para os MOSFETS que compõem o circuito de potência seria a utilização de relés convencionais para o chaveamento dos motores. Existem relés com especificações de corrente semelhantes aos MOSFETS e com baixo custo. Para a utilização do PWM, que necessita de tempos de chaveamento mais rápidos, uma alternativa seria a utilização de Transistores Darlington, por exemplo, o TIP122. Esses possuem custo reduzido e tempos de chaveamento adequados com a utilização de PWM, no entanto a especificação nominal de corrente máxima suportada não é equivalente aos MOSFETS.

1.5.3 Estrutura Mecânica

A alternativa para redução de custos da estrutura mecânica é a utilização da maior quantidade possível de componentes padrão, que possuem dimensões padrões e que podem ser facilmente adquiridos. Componentes como mancais, rolamentos e molas podem ser facilmente dimensionados para que sejam comprados.

O projeto será dimensionado de maneira que a fabricação de novas peças seja reduzida ao mínimo necessário, e quando existir, buscar a utilização de matéria prima comum a fim de reduzir custos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

Os motores são dispositivos que transformam algum tipo de energia em energia mecânica. Essa energia mecânica é desenvolvida através da rotação de um eixo que gira com uma determinada velocidade e torque; a rotação desse eixo fornece movimento a planta ou a alguma das suas partes (PAZOS, 2002, p. 120).

Segundo Pazos (2002, p. 121) a versatilidade é um dos fatores que caracterizam os motores de corrente contínua, devido a simplicidade no controle, é possível obter uma ampla faixa de velocidades, e uma saída precisa do motor. A partir do desenvolvimento das tecnologias de estado sólido e da facilidade de aquisição de componentes eletrônicos, é possível realizar um controle preciso sem que exista a necessidade de um alto investimento em *hardwares* sofisticados.

A estrutura de um motor elétrico é dividida em duas partes, o estator e o rotor. O estator, que tem função estacionária, é composto pelos componentes relacionados a carcaça, como por exemplo o enrolamento de campo e as escovas. O rotor é a parte móvel do motor, e seus componentes têm relação direta com o eixo de transmissão de energia mecânica (eixo da armadura) (NOLL, 2007, p. 1).

De acordo com Noll (2007, p. 7) os motores podem ser classificados de acordo com o tipo de conexão entre as bobinas do rotor e do estator:

- **Motores Série:** A conexão entre as bobinas do rotor e do estator são em série. Esse tipo de motor opera em baixa velocidade, à medida que se aumenta a carga. Quando não existe carga alguma, a velocidade é excessivamente alta. O esquema dessa ligação pode ser observado na figura 3.

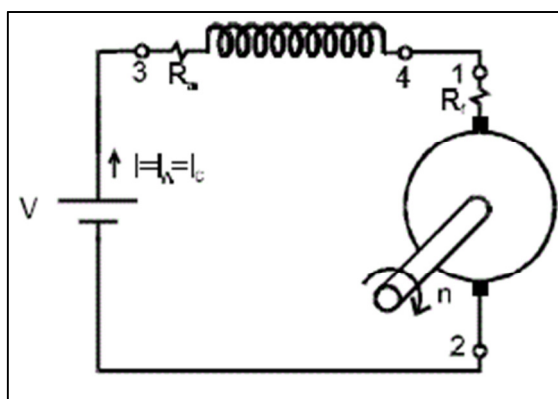


Figura 3 - Esquema de ligação em série de um motor de corrente contínua
Fonte: Noll (2007, p. 7).

- Motores Paralelo ou Shunt:** A conexão entre as bobinas do rotor e do estator são em paralelo, de acordo com a figura 4. Nesse caso, a corrente de alimentação é a soma da corrente da armadura com a corrente de campo, logo a velocidade e torques de partida são menores o que dispensa a necessidade de uma carga acoplada ao eixo para evitar velocidades iniciais indesejadas. A velocidade do motor nesse caso é decrescente de maneira constante, quando existe um aumento na carga.

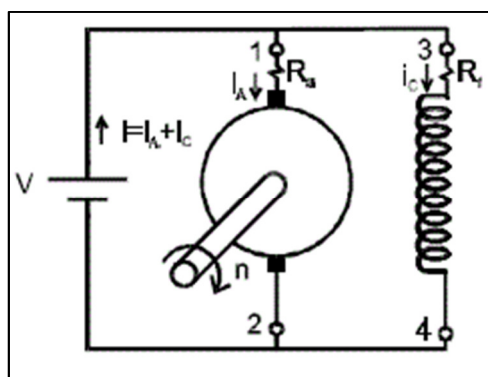


Figura 4 - Esquema de ligação em paralelo de um motor de corrente contínua

Fonte: Noll (2007, p. 7).

2.2 MICROCONTROLADORES

Os microcontroladores são sistemas microprocessados encapsulados na forma de um único circuito integrado que incorpora todos os componentes básicos de um microcomputador (figura 5). Eles são produzidos de forma a oferecer uma variedade muito grande de dispositivos, alguns deles com o mínimo necessário em termos de memória e portas de “Entrada/Saída” (BERTONHA, 2007, p. 7).

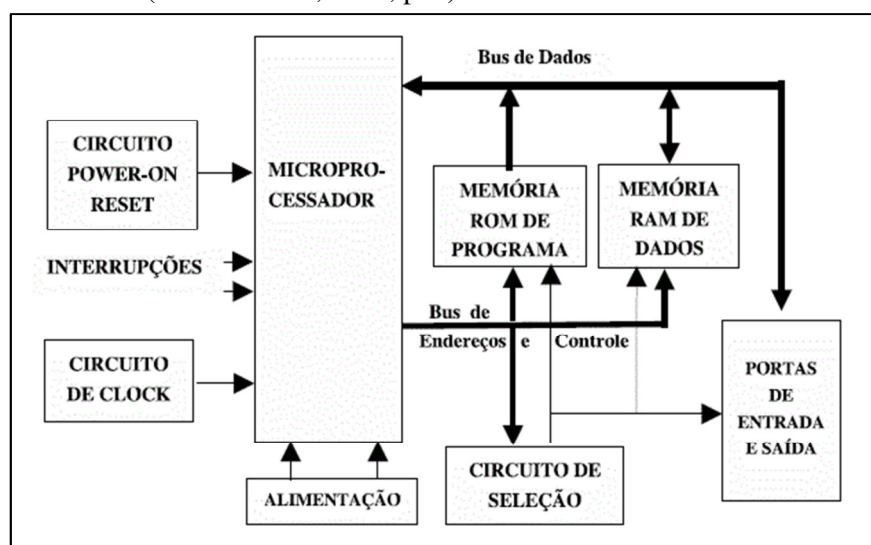


Figura 5 - Arquitetura interna mínima de um microcontrolador

Fonte: Bertonha (2007, p. 6).

De acordo com Bertonha (2007, p. 8), os sistemas microcontrolados têm como principal vantagem a facilidade que oferece para a implementação de sistemas das mais variadas aplicações, como sistemas de controle de dispositivos e máquinas, sistemas de automação de processos, sistemas de aquisição e processamento de dados, citando algumas possíveis aplicações.

Em termos de funcionamento, o microcontrolador é um dispositivo programável capaz de controlar um processo ou sistema. Tipicamente são utilizados em sistemas embarcados encontrados em diversas aplicações como nas indústrias automobilísticas, instrumentos científicos ou periféricos de computador. Além da portabilidade, os microcontroladores são valorizados pelo baixo custo, que pode significar grandes reduções no preço de um projeto (BYTE CRAFT LIMITED, 2002, p. 5).

2.2.1 Microcontrolador PIC

De acordo com Souza (2005, p. 22) os microcontroladores PIC apresentam um diferencial em relação aos microcontroladores tradicionais. O PIC apresenta uma estrutura interna do tipo Harvard, enquanto outros dispositivos apresentam arquitetura tipo Von-Neumann. A principal diferença entre essas duas arquiteturas é que o tipo Harvard possui dois barramentos (*bus*) internos, um para dados e outro para instruções, enquanto a Von-Neumann determina apenas um único barramento para dados e instruções. Essa diferença construtiva torna o processamento de informações no PIC mais rápido, pois enquanto uma instrução é executada, é possível endereçar outra. Outro aspecto importante que diferencia o PIC, é que o barramento de instruções é maior que 8 bits, podendo ser de 12, 14 ou 16 bits. Isso possibilita que o OPCODE da instrução já inclua o dado a ser transmitido e o local de operação, otimizando espaço na memória de programa.

Segundo Souza (2005, p. 22) a tecnologia RISC utilizada na família de microcontroladores PIC torna o aprendizado simplificado, pois o set de instruções é reduzido a aproximadamente 35 instruções. Os microcontroladores tradicionais utilizam a tecnologia CISC, que possuem aproximadamente 100 instruções. No entanto, um número reduzido de instruções torna a processo de desenvolvimento de *firmware* mais complexo visto que não existem funções diretas para algumas necessidades. É necessário combinar as 35 funções existentes para que seja obtido o fim desejado.

A estrutura básica de todos os microcontroladores da família PIC segundo Souza (2007, p. 27) é a seguinte:

- **Memória de Programa (*Program Memory*):** Geralmente são implementadas como flash, que permite a gravação de programas várias vezes, de acordo com a necessidade do programador. Alguns modelos possuem memória EPROM que pode ser apagada somente através de luz ultravioleta. O espaço disponível para programação varia de acordo com o modelo, por exemplo, 32K para memória de programa, algo em torno de 16.000 instruções, considerando a família 18F. Um exemplo de mapa da memória de programa pode ser observado na figura 6.

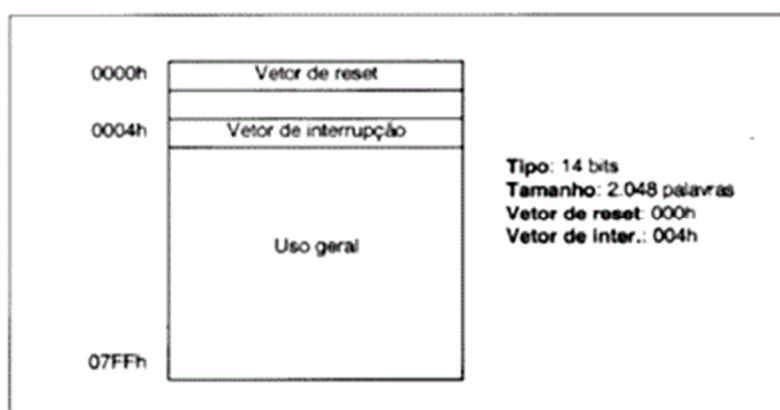


Figura 6 - Mapa da Memória de Programa do microcontrolador PIC 16F628A
Fonte: Souza (2005, p. 39).

- **Memória de Dados (*Data RAM*):** A memória de dados é a RAM, responsável por armazenar todas as variáveis e registradores utilizados pelo programa. É uma memória volátil, ou seja, quando o dispositivo é desconectado da alimentação, todas as informações são perdidas. A quantidade de dados varia de acordo com o dispositivo, no entanto para a família 18F é de 2K para memória de dados convencional. A memória de dados ainda pode ser dividida em Registradores Especiais.

- **Registradores Especiais (SFR):** Possuem a função de guardar a configuração e o estado de funcionamento do dispositivo. Esses registradores podem ser acessados como variáveis do sistema, mudando apenas o endereçamento, ocupando espaço na memória RAM. O usuário tem pleno acesso, podendo apagar e ler o valor desses registradores, tanto via *software*, quanto *hardware*. Um exemplo de registrador especial é o INTCON, que tem a função de configurar todas as interrupções do dispositivo.

- **Memória EPROM (*Data EEPROM Memory*):** É uma memória não volátil, separada da memória de dados e de programa sendo indiretamente mapeada através dos Registradores Especiais. Existe um registrador para armazenar os dados de 8 bits a serem escritos (EEDATA) e outro responsável pelo endereço onde será escrito esse dado (EEADR). O usuário pode realizar operações de leitura e escrita.

2.3 TRANSISTORES DARLINGTON

Um transistor do tipo Darlington consiste na combinação de dois transistores convencionais de maneira que o resultado se comporte como um único transistor, cujo ganho de corrente resultante (h_{FE}) seja igual ao produto do ganho de corrente dos dois transistores (HOROWITZ; HILL, 1989, p. 95).

Segundo Horowitz e Hill (1989, p. 95) para um transistor Darlington a queda de tensão base-emissor é duas vezes igual aos valores convencionais, e a tensão de saturação deve ser equivalente a de pelo menos um diodo (0,7 V). Essa combinação tende a transformar as respostas do conjunto mais lentas, visto que existe uma somatória de tempos de desligamento e ligamento dos dispositivos. A aplicação dos transistores do tipo Darlington é necessária onde altos valores de corrente estão envolvidos, como por exemplo, acionamento de motores elétricos e reguladores de tensão.

Um dos tipos comuns desse transistor é o TIP122, capaz de suportar uma corrente máxima de 5A (FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, 2008, p. 1). Na figura 7 é possível observar a configuração dos transistores do tipo Darlington.

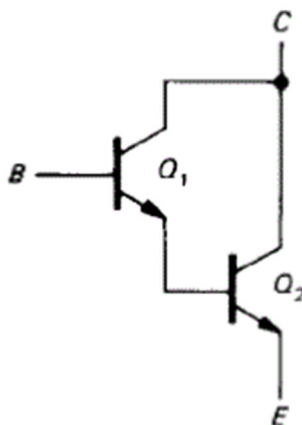


Figura 7 - Configuração padrão dos transistores Darlington
Fonte: Horowitz; Hill (1989, p. 94).

2.4 MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO (PWM)

Segundo Ghirardello (2009, p. 3), PWM é a modulação (ou variação) da largura de um pulso aplicado a uma carga de maneira que seja possível controlar a potência aplicada sobre essa carga.

De maneira que seja possível facilitar a definição do conceito de PWM, existe uma comparação que pode ser realizada entre esse método e um circuito contendo um simples interruptor e uma carga que deve ser controlada (figura 8).

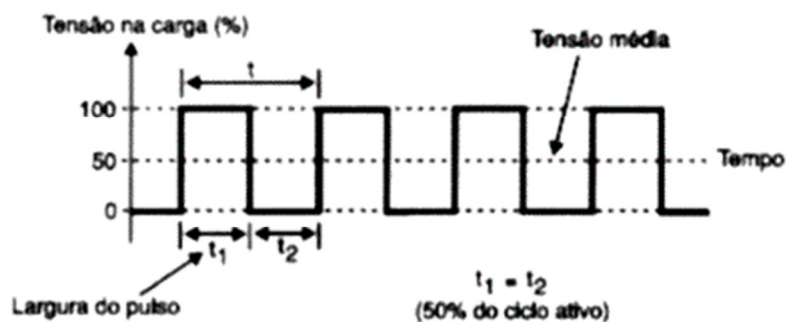


Figura 8 - Circuito básico contendo interruptor e carga
Fonte: Ghirardello (2009, p. 2).

A análise desse circuito conforme Ghirardello (2009, p. 2) é dividida em dois momentos distintos:

1. **Interruptor aberto:** Não existe corrente no circuito, logo a potência aplicada sobre a carga é nula.
2. **Interruptor fechado:** Carga recebe a tensão V máxima e a potência aplicada é máxima.

Logo podemos concluir que em um cenário onde a tensão aplicada na carga é de 50%, devemos realizar a operação de fechamento e abertura do interruptor de maneira que, em um determinado período de tempo x , esse permaneça aberto em 50% de x e fechado em 50% de x .

A fração de tempo em que o interruptor permanece em estado ativo é denominado razão cíclica ou ciclo de trabalho (do inglês *duty cycle*) (GHIRARDELLO, 2009, p. 2). O conjunto determinado pelo tempo em que a carga permanece em estado inativo e ativo é denominado período, e define a frequência de controle. Um exemplo gráfico desse conjunto de pulsos pode ser observado na figura 9.

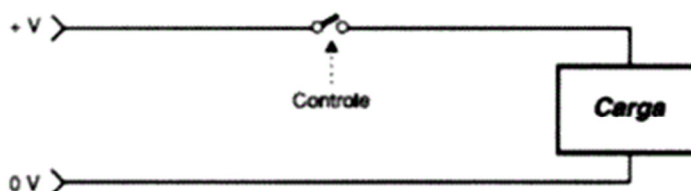


Figura 9 - Conjunto de pulsos que determinam o ciclo de trabalho e frequência de controle
Fonte: Ghirardello (2009, p. 2).

A técnica PWM é utilizada com mais frequência quando a carga em si é um sistema cujo tempo de resposta é lento. Nesse caso, o PWM gera parcelas precisas de energia que o

sistema conectado como carga enxerga como média. Por exemplo, a carga pode ser capacitiva (regulador chaveado), térmica (termostato), mecânica (servomotor) ou eletromagnética (controlador eletromagnético) (HOROWITZ; HILL, 1989, p. 618).

2.5 BATERIAS

Baterias são associações de pilhas (ou elementos) ligadas em série. A bateria de 12 volts usada nos automóveis, por exemplo, é formada por seis compartimentos. Cada compartimento é uma pilha (ou elemento) e produz uma força eletromotriz de 2 volts (FELTRE, 2004, p. 316).

A figura 10 demonstra um exemplo de bateria com seus pólos.

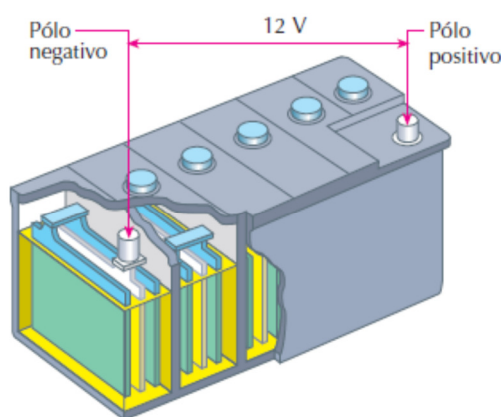


Figura 10 - Exemplo de Bateria e seus pólos
Fonte: Feltre (2004, p. 316).

As baterias podem ser classificadas em dois grupos:

- **Baterias primárias:** não-recarregáveis.
- **Baterias secundárias:** recarregáveis.

Segundo Feltre (2004, p. 317) o princípio de funcionamento das baterias tem base em um conjunto de reações químicas, onde a troca de íons positivos e negativos entre células voltaicas distintas provoca uma diferença de potencial medida em Volts.

Baterias primárias são projetadas para oferecer uma única descarga. São geralmente pequenas e de única célula, utilizadas em aplicações domésticas que não necessitam de altas correntes (DELL; RAND, 2001, p. 52).

Baterias secundárias são capazes de oferecer repetidos ciclos de carga e descarga. Por serem capazes de realizar a reversão do processo químico, podem oferecer no mínimo 500 ciclos de carga e descarga. Sendo assim, possuem aplicações diversas, de veículos elétricos a satélites que permanecem por anos na órbita terrestre em função de uma bateria secundária

com capacidade de recarga de mais de 20.000 ciclos (DELL; RAND, 2001, p. 97). Nesse projeto o tipo de bateria utilizada foi o secundário.

2.6 ELEMENTOS DE MÁQUINAS

O projeto utiliza elementos mecânicos como polias para efetuar a transmissão de potência dos atuadores (motores de corrente contínua) para as rodas que movimentam o equipamento. Molas são usadas para realizar pressão da escova contra a superfície da quadra.

2.6.1 Polias

Transmissão por polias consiste em duas rodas geralmente com um canal ao longo das suas circunferências externas. Por esses canais passa uma correia fechada, com uma certa tensão, unindo as duas. Os centros das rodas são solidários com um par de eixos de maneira tal que estas possam girar livremente (figura 11) (PAZOS, 2002, p. 145).

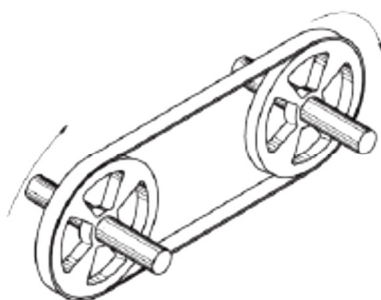


Figura 11 - Transmissão por polias
Fonte: Generoso (2009, p. 43).

Se for colocado o eixo de uma das polias solidário com o eixo do motor de passo que gira com velocidade angular e torque, o eixo da outra polia apresentará um movimento de rotação que pode ter características diferentes (PAZOS, 2002, p. 146). A polia solidária ao eixo do motor é chamada de polia motora, a outra polia que recebe o movimento através da tração da correia é chamada de polia movida.

A principal vantagem de utilizar este tipo de sistema de transmissão é a simplicidade mecânica, fazendo com que não seja necessário utilizar peças de alta precisão para um bom funcionamento do sistema. Outra vantagem é que os eixos das polias não precisam estar perfeitamente paralelos para o sistema funcionar, não exigindo assim uma alta precisão nas peças de sustentação dos eixos (PAZOS, 2002, p. 148).

2.6.2 Molas

Molas são elementos de máquinas que apresentam grandes deformações sem ultrapassar seu limite elástico, ou seja, retornam a sua configuração inicial quando retirada a carga à que está sendo submetida. Elas são componentes presentes em muitos dispositivos do nosso cotidiano, dentre das inúmeras funcionalidades destinam-se, a absorver energia, a manter peças em contato, ao amortecimento de choque, a provocar deslocamento, a medir forças, etc (GENEROSO, 2009, p. 23).

Em geral as molas podem ser classificadas de acordo com o tipo de esforço sofrido em, molas de compressão, molas de tração e molas de torção.

Conforme Generoso (2009, p. 25) molas de compressão têm suas espiras separadas para que possam ser comprimidas, sendo projetadas para acumular força durante sua compressão, ou seja, exercer força no sentido de empurrar. Normalmente possuem formato helicoidal paralelo ou cônico, sendo geralmente confeccionadas com arame cilindro e em caso que exigem forças maiores em espaços reduzidos utilizam-se arames de seção quadrada ou retangular. Molas de compressão podem ser observadas na figura 12.



Figura 12 - Molas de Compressão
Fonte: Stock Molas (2010).

Segundo Norton (2004, p. 723) molas de tração têm suas espiras próximas umas das outras para que esse espaço aumente quando a mesma é tracionada por alguma força. Elas são construídas em forma helicoidal paralela, cônica ou mista, normalmente com ganchos de fixação nas suas extremidades (ver figura 13). São projetadas para tracionar acumulando forças durante seu alongamento.



Figura 13 - Molas de tração
Fonte: Stock Molas (2010).

Molas de torção são utilizadas quando o objetivo é aplicar momentos de forças, quando submetidas a esforços tendem a enrolar ainda mais suas espiras, acumulando assim forças de torção, de acordo com Norton (2004, p. 732). Na maioria das aplicações são construídas com arames cilíndricos e suas extremidades possuem forma de braços de alavanca onde é aplicada a força. Exemplos de molas de torção podem ser observados na figura 14.



Figura 14 - Molas de torção
Fonte: Stock Molas (2010).

2.6.3 Mancais rolamentos

De acordo com Norton (2004, p. 571), os rolos são desde os tempos ancestrais como meio de mover objetos pesados, e há a evidência do uso de mancais esferas no século I a.C.; mas foi somente no século 20 que matérias melhores e tecnologia de manufatura permitiram que fossem feitos mancais precisos de elementos rolantes.

A definição de mancal segundo Norton (2004, p. 543) é a de um suporte ou guia em que se apóia um eixo. No ponto de contato entre a superfície do eixo e a do mancal ocorre atrito, dependendo do tipo de esforço solicitado neste ponto os mancais podem ser de deslizamento ou de rolamento.

Os mancais de deslizamento (figura 15), geralmente são constituídos de por uma bucha fixada a um suporte. Esses mancais são normalmente utilizados em máquinas de grande porte ou em equipamentos que trabalhem em baixa rotação, pois a baixa velocidade diminui a incidência de superaquecimento dos componentes expostos ao atrito.

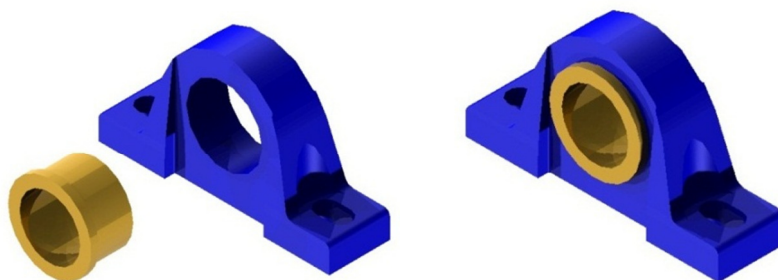


Figura 15 - Mancal de deslizamento
Fonte: Autoria Própria (2013).

Conforme Norton (2004, p. 543) as buchas de deslizamento, em geral, tem formato cilíndrico oco que envolve o eixo. Elas são fabricadas de materiais macios, como bronze, ligas de metais leves e atualmente até de polímeros auto lubrificantes. Nas buchas feitas de ligas metálicas a utilização de lubrificantes é indispensável para reduzir o atrito com o eixo e aumentar sua vida útil.

Os termos mancal de contato de rolamento ou rolante, mancal antifricção e mancal de rolamento são todos usados para descrever a classe de mancal em que a carga principal é transferida por meio de elementos de contato rolante em vez de contato de escorregamento. Um exemplo de mancal de contato pode ser observado na figura 16. Em um mancal de rolamento, a fricção inicial é cerca de duas vezes a de funcionamento, ainda que seja insignificante em comparação com a fricção inicial de um mancal deslizante (SHIGLEY, 2005, p. 536).

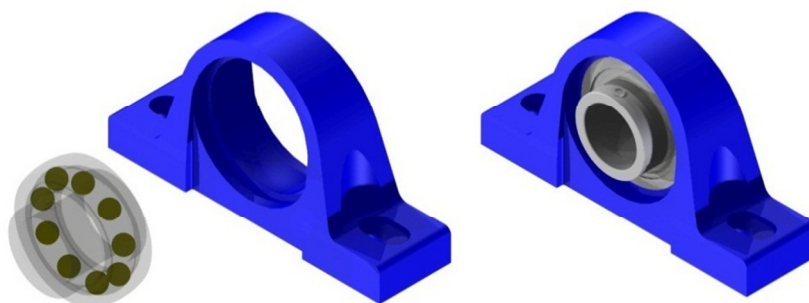


Figura 16 - Mancal de rolamento
Fonte: Autoria Própria (2013).

Mancais de rolamentos são utilizados em aplicações com maior velocidade e que necessitam menor atrito entre os componentes. Os mancais são construídos para suportar cargas radiais puras, axiais puras ou a combinação dos dois gêneros. Os rolamentos geralmente são constituídos por dois anéis concêntricos, entre os quais são colocados elementos rolantes. Eles são classificados em função dos seus elementos rolantes em: rolamento de esfera, rolamento de rolo, rolamento de agulha (NORTON, 2004, p. 571).

O tipo de rolamento encontrado na maioria das aplicações é o fixo de uma carreira (ver figura 17). Segundo Generoso (2009, p. 33) possui característica de suportar cargas radiais e pequenas cargas axiais. Adequado para rotações mais elevadas, tem capacidade de ajustagem limitada.

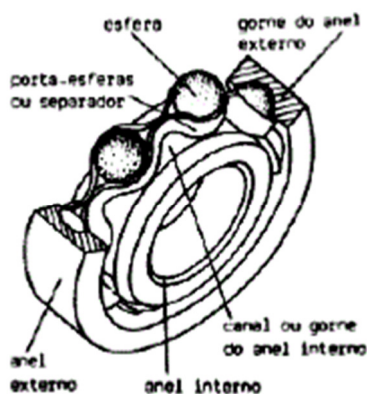


Figura 17 - Rolamento fixo de uma carreira
Fonte: Generoso (2009, p. 31).

Existem outros tipos de rolamentos, que são definidos de acordo com a aplicação desejada. Cada tipo possui características de operação adequadas para cargas específicas bem como regulagem fixa ou ajustável. Os tipos mais comuns são os rolamentos de contato angular de uma carreira, rolamento de rolo cilíndrico, rolamento auto compensador de rolos, rolamento de rolos cônicos, rolamento axial de esfera e rolamento de agulhas (GENEROSO, 2009, p. 39).

2.6.4 Chavetas

De acordo com Generoso (2009, p. 55) chavetas são elementos de máquinas utilizados para transmissão de torque do eixo para um elemento rotante por ele suportado. Elas ficam montadas numa cavidade de um eixo e de uma peça com a finalidade de ligar os dois elementos mecânicos. Há diversas formas de se unir um cubo com um eixo, essas maneiras

devem tornar a união rígida ou móvel e desmontável. Além disso, outro fator decisivo na escolha da solução é o tipo de esforço recebido ou transmitido. Esses esforços podem ser classificados em axiais e tangenciais. Nos dois casos o esforço pode ser transmitido do eixo para o cubo ou vice-versa.

Um dos tipos de chaveta que pode ser encontrado em diversas aplicações é a chaveta plana, que tem característica semelhante a a chaveta encaixada, porém, ao invés de se fazer um rasgo no eixo para a montagem é feito um rebaixo plano como é possível observar na figura 18.



Figura 18 - Chaveta plana
Fonte: Gordo; Ferreira (1995, p. 13).

2.6.5 Encoder

Um *encoder* é um dispositivo responsável por detectar posição e velocidade através da contagem de pulsos, gerados através do movimento de rotação de um eixo (OMRON CORP, 2007, p. 1).

Na maioria das aplicações é realizada uma distribuição dos 360 graus de rotação do eixo, de maneira que exista uma quantidade exata e mensurável de seções. Através de um sensor, essas seções são contadas e transferidas através de pulsos de onda quadrada para um dispositivo responsável por interpretar o sinal e realizar a lógica desejada (MCMILLAN; CONSIDINE, 1999, p. 520).

Segundo McMillan e Considine (1999, p. 521) *encoders* podem ser divididos em dois tipos:

- *Encoder* incremental: produzem um pulso simétrico para cada incremento que resulta em mudança de posição do eixo. Esses pulsos são contados para cada incremento a partir de um ponto inicial de maneira que seja possível determinar a posição real da aplicação.
- *Encoder* absoluto: geram um único sinal de saída para uma única ou múltiplas revoluções do eixo, ou seja, um código binário completo para cada posição (saída digital). São utilizados em aplicações que exigem informações precisas de posicionamento ao invés de simplesmente uma mudança de posição.

No desenvolvimento do dispositivo houve a necessidade de utilização de dois *encoders* incrementais, responsáveis por medir o deslocamento do dispositivo. Cada um dos *encoders* foi fabricado com uma resolução específica de pulsos e acoplado diretamente no eixo dos motores elétricos.

Durante o processo de deslocamento em linha reta e curva, os optoacopladores realizam a leitura das seções dos *encoders* e enviam para o microcontrolador pulsos em forma de onda quadrada, que são interpretados através de uma lógica do programa. Essa lógica permite ao dispositivo entender sua posição real na quadra, permitindo realizar o movimento de curva no momento correto.

2.6.6 Escova

Para a aplicação no projeto, foi utilizado o mesmo conceito das escovas manuais, no entanto, houve a necessidade de adaptação dimensional afim de que fosse compatível com a estrutura mecânica do dispositivo.

Normalmente a homogeneização da superfície da quadra de saibro é realizada utilizando uma vassoura de aproximadamente 1,5 metros de largura dotada de rígidas cerdas de nylon, conforme a figura 19.



Figura 19 - Escovão para quadra de tênis
Fonte: Autoria Própria (2013).

Na fase de projeto do dispositivo houve dificuldade de encontrar uma vassoura que pudesse ser adaptada ao protótipo, foi decido então utilizar como elemento de contato com o solo uma borracha nitrílica com dureza de 30 shore, espessura de três milímetros, largura de 100 milímetros e comprimento de 300 milímetros. Optou-se pela borracha, pois após

realizados testes com diversos materiais na superfície da quadra e percebeu-se que o efeito do atrito dela com solo era o mais próximo ao da vassoura.

3 DESENVOLVIMENTO E TESTES

3.1 *HARDWARE E SOFTWARE*

3.1.1 Ambiente de Programação

O ambiente de programação utilizado para o desenvolvimento do *firmware* foi o MPLAB IDE v8.76 da Microchip que é compatível com os microcontroladores da família PIC. O compilador utilizado foi o HI-TECH C Compiler, que possibilitou a programação em linguagem C. Esse compilador é indicado para uso juntamente com o MPLAB IDE pelo próprio fabricante.

Para a gravação do *firmware* no *hardware*, foi utilizado um *software opensource* e gratuito, disponível para download na internet. A Microchip fornece um *software* para gravação, no entanto o *software* apresentou erros durante o processo de gravação. Todos os *drivers* necessários para realizar a interface do *hardware* com o Windows, bem como *softwares*, estão disponíveis para *download* no site da Microchip.

3.1.2 Lógica do *Firmware*

O *firmware* desenvolvido para controle do dispositivo segue as seguintes etapas detalhadas a seguir, e resumidas no anexo B:

1. Usuário posiciona manualmente o dispositivo na posição inicial da quadra. O dispositivo então é ligado.
2. Ambos os motores são ligados e então é iniciado o processo principal, onde acontece um deslocamento em linha reta até o final quadra. Durante todo o tempo acontece a leitura da distância percorrida realizada através de um optoacoplador e um disco com a função de *encoder*.
3. Quando a distância igual a largura da quadra é lida, existem duas possibilidades: o final do processo (final da quadra) foi atingido ou é o momento de realizar a curva. Se foi atingido o final da quadra, então os motores são desligados e o usuário deve reposicionar manualmente o dispositivo no outro lado da quadra, ou fora dela caso ambos os lados já tenham sido finalizados.

Na outra possibilidade, um dos motores é desligado enquanto o outro permanece ligado, então é realizado o movimento de curva que tem a função de inverter o sentido de deslocamento. Da mesma maneira que o movimento em linha reta, existe também a necessidade de medir a distância do raio da curva, visto que ambos os motores devem ser ligados simultaneamente para que o processo continue novamente.

3.1.3 *Hardware* de Desenvolvimento

O *hardware* utilizado para o desenvolvimento do *software* e controle do dispositivo é o PICDEM FS-USB, fornecido pela Microchip. É uma placa de demonstração e desenvolvimento para o PIC18F4550, sendo que os principais fatores que levaram a escolha desse dispositivo foram:

- Compatibilidade com interface USB 2.0, que tornou o processo de programação e depuração do *firmware* rápida, reduzindo os tempos de espera e necessidade de *hardware* externo para programação. Toda a programação e teste foram realizados no mesmo circuito, sem a necessidade de retirar o microcontrolador, programar externamente e inserir novamente na placa de desenvolvimento
- Presença de dois módulos de PWM distintos, necessários no projeto para o controle dos motores com velocidades diferentes.
- Possibilidade de programação utilizando a linguagem C, visto que toda a experiência prévia adquirida para o desenvolvimento em sistemas embarcados foi nessa linguagem.

Um dos fatores negativos do PIC 18F4550 é o custo mais elevado se comparado com microcontroladores da família 8051. Se fosse produzido em larga escala, outro dispositivo equivalente da mesma família deve ser utilizado visando uma redução de custo mas mantendo as mesmas especificações.

Uma das dificuldades encontradas na etapa inicial do desenvolvimento foi a necessidade de incluir no código fonte um cabeçalho contendo informações referentes ao *hardware* e ao modelo de PIC utilizado. Sem isso, a lógica de programação não correspondia com a real execução do dispositivo, constituindo em diversos erros. Para esse fim, foi necessário buscar no próprio site do fabricante um cabeçalho de configuração padrão para o PIC 18F4550.

O esquemático do PICDEM FS-USB está disponível gratuitamente no site da Microchip, bem como todos os *softwares* necessários para a interface com o Windows. A figura 20 mostra o esquemático da placa.

Tabela 1 - Comparação entre MOSFET IRF640 e Transistor TIP122

	TIP122	IRF640
Corrente Máxima (A)	5	18
Preço Médio (R\$)	1,5	3

Fonte: Aatoria Própria (2013).

Inicialmente, foram realizados testes em *protoboard* com o circuito contendo o TIP122. Em função de um aumento considerável de temperatura após alguns minutos de operação, foi necessária a utilização de dissipadores de calor acoplados aos transistores. Na figura 21 é possível observar o esquemático testado, criado no *software* Proteus.

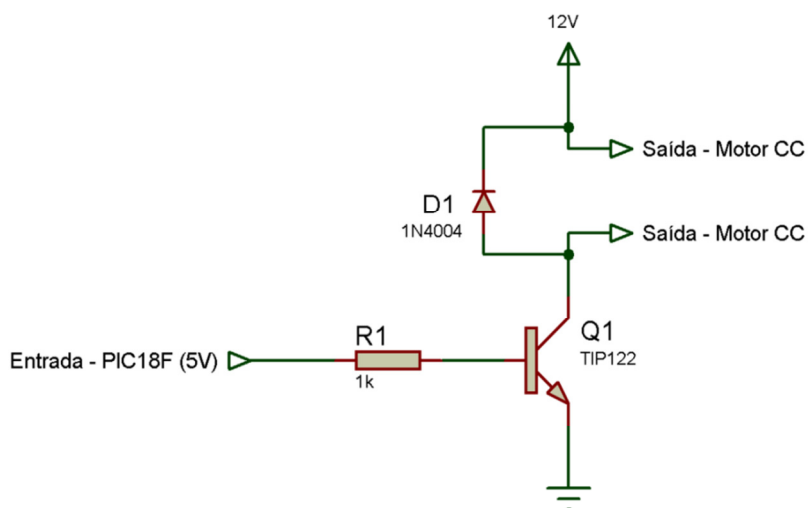


Figura 21 - Esquemático do *hardware* de potência

Fonte: Aatoria Própria (2013).

Esse mesmo esquemático no futuro, originou o leiaute para a criação do *hardware* definitivo, através do método de corrosão por Percloroeto de Ferro, que pode ser observado na figura 22.

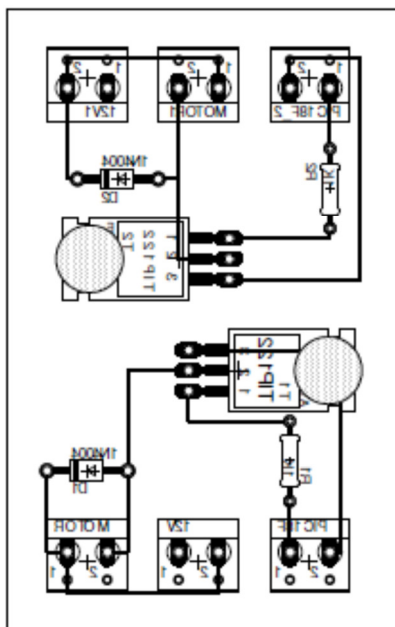


Figura 22 - Leiaute PCB do *hardware* de potência
Fonte: Autoria Própria (2013).

3.1.5 *Hardware* de Interface

A função principal do *hardware* de interface é possibilitar, através da utilização de um Schmitt Trigger, a leitura do sinal proveniente dos optoacopladores pelo microcontrolador. Através de testes foi concluído que o sinal fornecido pelos optoacopladores não é adequado para uma leitura direta pelo microcontrolador. O Schmitt Trigger possibilitou a leitura correta dos pulsos, fornecendo em sua saída sinais de nível lógico '0' e '1' facilmente interpretados pelo PIC.

A função secundária do *hardware* de interface é fornecer tensão adequada para alimentação dos optoacopladores. Para esse fim foi utilizado o regulador de tensão 7805, que converte a tensão fornecida pela bateria (12V) em 5V.

O esquema elétrico do *hardware* pode ser observado na figura 23 e o leiaute PCB na figura 24.

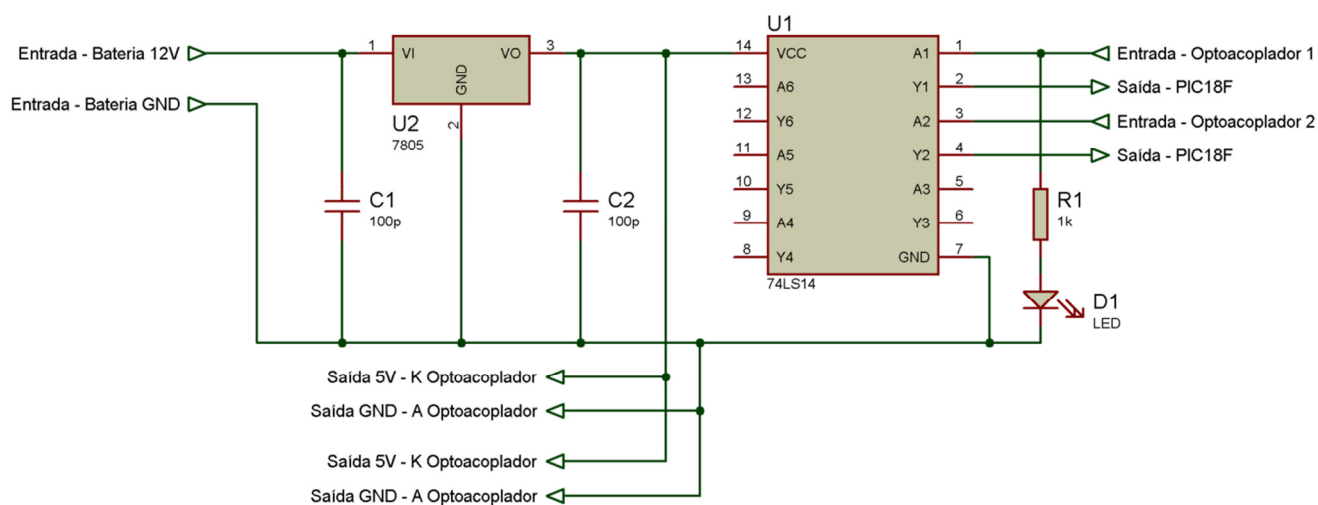


Figura 23 - Esquemático do *hardware* de interface
Fonte: Autoria Própria (2013).

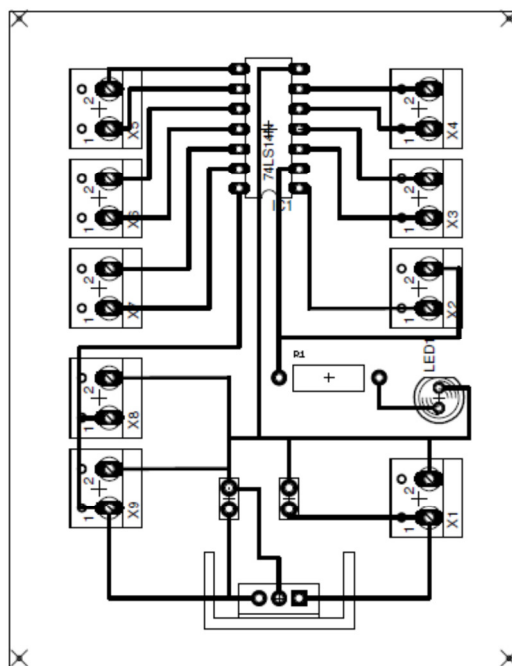


Figura 24 - Leiaute PCB do *hardware* de interface
Fonte: Autoria Própria (2013).

3.1.6 Controle dos Motores – Técnica PWM

Para controle do dispositivo foram utilizados dois motoredutores (modelo semelhante ao da figura 26) cujas especificações técnicas são as seguintes:

Quadro 1 - Especificações técnicas dos motores elétricos

Fabricante	Bosch
Código	9 390 453 050
Tipo	Motoredutor tipo CEP
Tensão Nominal	12 VCC
Consumo Nominal	3A (Conforme torque)
Torque	25 a 48 Nm
Rotação Máxima	100 RPM

Fonte: Robert Bosch Ltda, 2011.

Todo o *hardware* e motores do dispositivo são movidos por uma bateria de 12V e 7A, que apresentou especificações nominais e custo benefício aceitáveis para a sua utilização no projeto. Com os dois motores em pleno funcionamento, a bateria tem uma autonomia de 3 horas de funcionamento. O modelo utilizado no projeto pode ser observado na figura 25.



Figura 25 - Bateria modelo UP1270E utilizada no projeto
Fonte: Unipower Ltda (2011, p. 1).

Ambos motores possuem tempo de uso diferentes, visto que foram adquiridos usados. Apresentam características elétricas semelhantes, mas diferentes desgastes no sistema mecânico e elétrico. Essa diferença resulta em velocidades de operação distintas, mesmo com tensão de alimentação semelhante. Essa variação de velocidade nas rodas provoca uma alteração indesejável na trajetória do dispositivo, que deve ser retilínea durante o maior período de deslocamento. Na seção de testes e resultados, esse desvio é apresentado em maiores detalhes.



Figura 26 - Motoredutor tipo CEP / Fabricante Bosch utilizado no projeto
Fonte: Robert Bosch Ltda (2011, p. 68).

Afim de realizar a correção dessa diferença de velocidade entre os motores, foi utilizada a técnica PWM. O motoredutor interpreta essa modulação de pulsos por uma tensão média de alimentação. Para esse fim foram utilizados os dois módulos de PWM presentes no Microcontrolador PIC, cuja tensão média de saída dos pinos específicos foi controlada através de uma rotina desenvolvida no *firmware*.

Para cada motor foram realizados testes de maneira que a velocidade de ambos ligados simultaneamente fosse a mais próxima possível, realizando alterações manuais no *firmware*. Portanto, cada motor recebeu um valor específico de *duty cycle*, de acordo com as suas limitações mecânicas.

3.2 INTEGRAÇÃO MECÂNICA

3.2.1 Estrutura base dos componentes

A primeira e mais importante peça mecânica do protótipo é a estrutura, ela é responsável por acomodar e suportar todos os componentes mecânicos e elétricos do equipamento. Para obter a resistência e leveza necessária ela foi fabricada em chapa de aço AISI 1020 espessura 1,2 mm cortada a plasma, dobrada e soldado. Com o intuito de dar mais rigidez ao conjunto foram incluídos reforços elaborados com o mesmo material soldados na parte inferior e superior da chapa principal. A figura 27 mostra uma representação da estrutura base dos componentes.

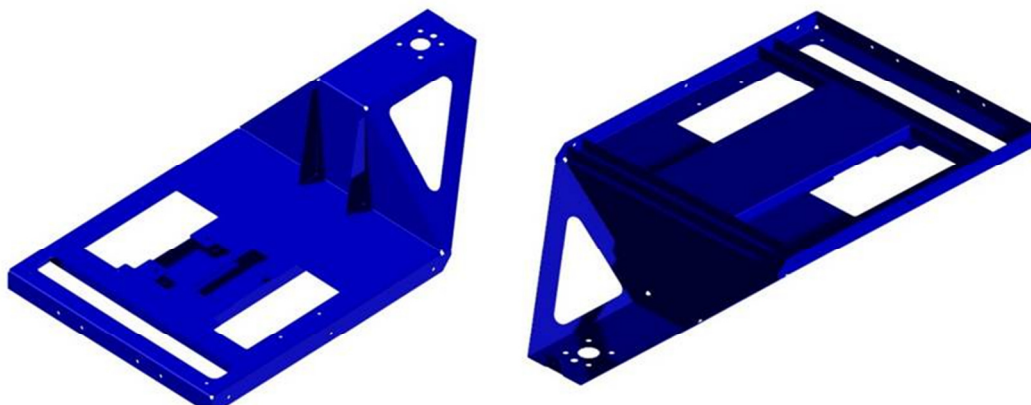


Figura 27 - Estrutura base dos componentes
Fonte: Autoria Própria (2013).

Na parte traseira da estrutura foi feito um recorte no qual foi instalado o conjunto de fixação da borracha que atrita contra a superfície do solo. Logo à frente desta abertura foram feitos outros dois recortes menores para a instalação das rodas motoras. No patamar superior do conjunto está localizada a furação para a fixação da roda movida.

3.2.2 Conjunto de acionamento

Com a estrutura principal detalhada e motoredutores selecionados, foi necessário definir o tipo de roda a ser utilizada. Após consultas a alguns catálogos de fabricantes de rodízios optou-se por usar rodas pneumáticas com largura 2 polegadas e diâmetro 6 polegadas. Essa decisão se deu porque o ajuste da calibragem da roda possibilitava maior atrito com o solo diminuindo a derrapagem nas rodas de motoras. A figura 28 mostra uma imagem da roda utilizada no projeto.



Figura 28 - Roda R 62 PN E utilizada no projeto
Fonte: Colson Rodas e Rodízios (2010, p. 17).

Para fixar os motoredutores na estrutura, foi desenvolvido um suporte em chapa AISI 1020, espessura 3 mm e revestimento em PVC com o intuito de realizar isolamento elétrico do restante do equipamento. Para transmitir o movimento gerado pelos motoredutores para as rodas motoras, foi projetado um eixo com diâmetro 16 mm e comprimento de 110 mm, com uma flange de diâmetro 74 mm e espessura de 40 mm soldada em uma das extremidades.

O eixo foi montado diretamente ao eixo do motoredutor através de uma rosca M6 em uma das extremidades e a roda foi fixada em um dos lados do flange através de quatro parafusos M8. No outro lado do flange foi fixado com três parafusos M3 o disco do encoder o qual foi fabricado em AISI 304 espessura 1,2 mm e diâmetro 130 mm.

O próprio motoredutor foi utilizado com apoio para uma das extremidades do eixo e o outro lado foi usado um mancal tipo pedestal Igus modelo KSTM-16. Optou-se por utilizar este mancal por ele não necessitar lubrificação e ser leve. Todo esse conjunto descrito está demonstrado na figura 29.

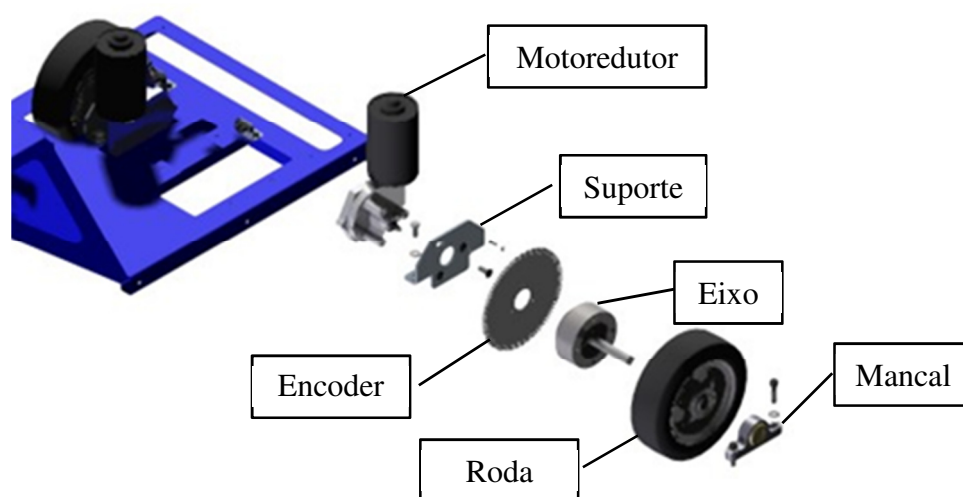


Figura 29 - Conjunto de acionamento
Fonte: Autoria Própria (2013).

3.2.3 Conjunto fixação roda movida

A roda movida foi fixada a um suporte fabricado em chapa de aço AISI 1020 espessura 3,18mm dobrada em forma de “U” com um eixo em aço AISI 1020 soldado na face superior, como o mostrado na figura 30. Para montar o suporte da roda com liberdade para girar 360° foram utilizados dois mancais flangeados Igus modelo EFMS-16 fixado na estrutura base por quatro parafusos M6. Para fixar o suporte da roda nos mancais foi utilizado um anel de retenção modelo 501.016.

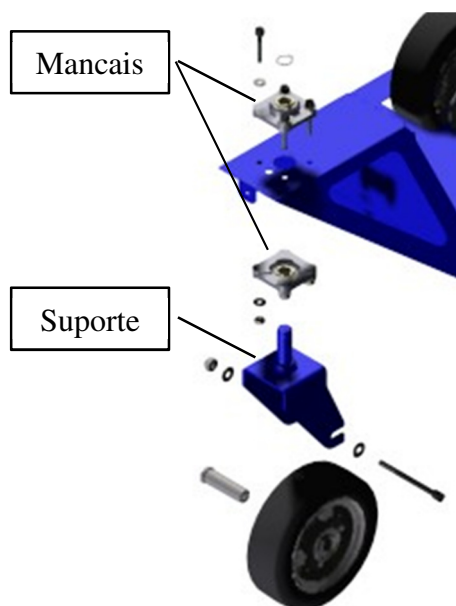


Figura 30 - Conjunto fixação da roda movida
Fonte: Autoria Própria (2013).

3.2.4 Suporte escova e sistema para movimentação manual

Por ter uma redução muito grande, os motoredutores quando desligados ficam com o eixo de saída travado, por esse motivo quando o protótipo não está no modo automático existe uma grande dificuldade de movimentá-lo.

Para facilitar o transporte foi desenvolvido um sistema para a elevação das rodas motoras, composto por um braço de tubo redondo de aço AISI 1020 com diâmetro externo 25,4 mm e parede 1,2 mm com duas orelhas de chapas de aço AISI 1020 espessura 3,18 mm soldadas na sua extremidade. O braço foi articulado nestas orelhas através de dois parafusos M10 fixados a estrutura base através de dois suportes fabricados em chapas de aço AISI 1020 espessura 3,18 mm, como o mostrado na figura 31.

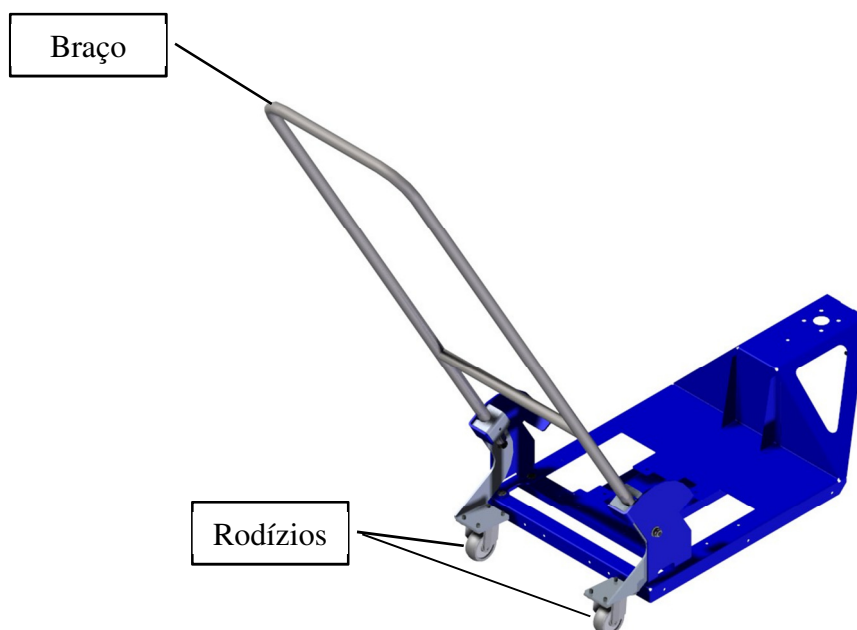


Figura 31 - Braço elevação escova
Fonte: Autoria Própria (2013).

Quando o braço está na horizontal as rodas motoras estão apoiadas sobre o solo permitindo que o protótipo execute o modo automático, quando o braço está na posição vertical as rodas motoras são elevadas em relação ao solo e o dispositivo fica apoiado sobre dois rodízios fixos Schioppa modelo FL 210 BP que estão fixados nas orelhas do braço através de quatro parafusos M6.

O movimento gerado pelo braço articulado foi utilizado para movimentar o conjunto responsável por elevar a borracha que homogeneiza a superfície da quadra. Os dois sistemas foram interligados em ambos os lados através de dois terminais rótulas Igus modelo KARM-08 fixados por parafusos M8 e unidos por um aço laminado AISI 1020 sextavado de 12,7 mm.

As rótulas foram fixadas diretamente no suporte da borracha, o qual foi construído com cantoneiras em aço AISI 1020 com aba 25,4 mm e espessura 3,18 mm, em uma das faces da cantoneira foram soldados dois eixos guias de AISI 1020 com diâmetro de 16 mm e na outra face foram feitas três roscas M6 para a fixação da borracha.

Para guiar o suporte da borracha foram utilizados mancais lineares Igus modelo RJUM-01-16, montados em duas bases de chapa de aço AISI 1020 espessura 3,18 mm e fixados por quatro anéis de retenção modelo 501.026. Para manter a borracha sempre em contato com o solo foram instaladas entre a base e o suporte no mesmo centro dos eixos guias duas molas com diâmetro externo 22 mm, arame diâmetro 1 mm e comprimento 50 mm. Um detalhamento do sistema de movimentação descrito está representado nas figuras 32 e 33.

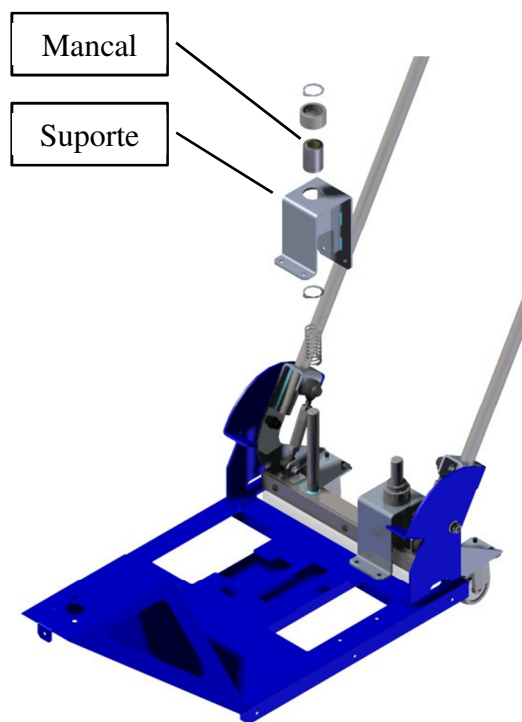


Figura 32 - Suporte escova e sistema para movimentação manual
Fonte: Autoria Própria (2013).

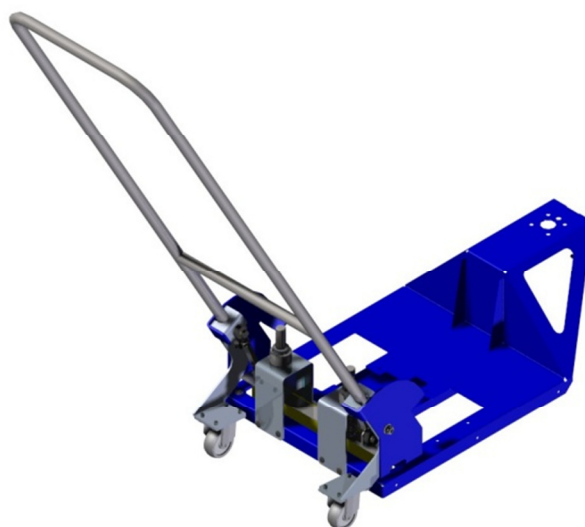


Figura 33 - Suporte escova e sistema para movimentação manual
Fonte: Autoria Própria (2013).

3.2.5 Montagem final componentes

Com todos os componentes mecânicos montados, foi iniciada a montagem dos componentes elétricos. Primeiramente foi fixado com uma fita adesiva o suporte das placas eletrônicas, construído a partir de uma barra de PVC de espessura 10 mm e largura 20 mm, com ranhuras na face superior para acomodar as placas.

Posteriormente foram posicionadas as três placas uma ao lado da outra e a bateria no centro da estrutura, como na o mostrado na figura 34, então foram feitas as ligações elétricas

entre as placas e entre os outros componentes elétricos utilizando cabo bitola AWG 20. Depois os cabos foram organizados e fixados em alguns pontos da estrutura base através de fixadores auto-adesivos e abraçadeiras plásticas.

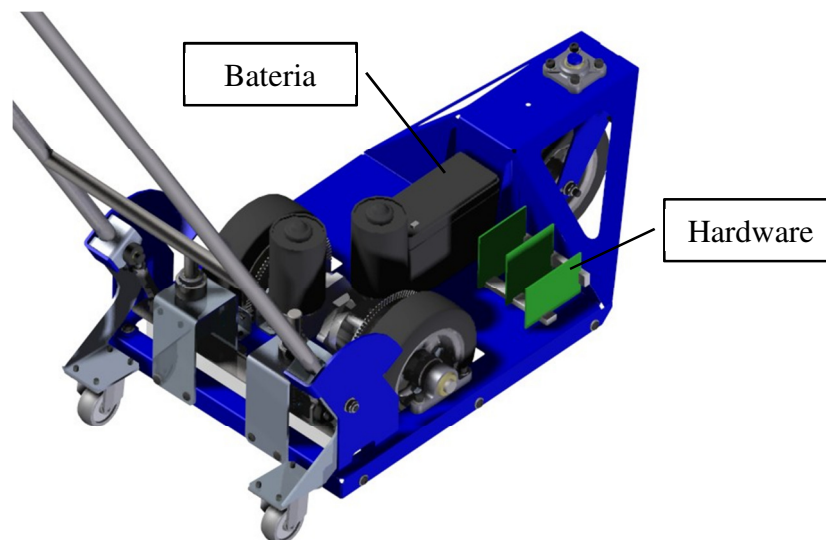


Figura 34 - Posicionamento placas e bateria
Fonte: Autoria Própria (2013).

3.3 TESTES E RESULTADOS

3.3.1 Eletrônica e Controle

- **Problema encontrado:** Curto circuito ao ligar ambos os motores simultaneamente.
- **Solução:** Isolar um dos motores da carcaça de aço do dispositivo e do outro motor, pois o aterramento dos motores deve ser eletricamente isolado. O teste foi realizado utilizando um multímetro, comparando se existia passagem de corrente elétrica entre o motor e os outros pontos do dispositivo.

- **Problema encontrado:** Microcontrolador não consegue interpretar o sinal lógico '0' proveniente do optoacoplador.
- **Solução:** Remodelar o circuito original de maneira que o sinal de saída do optoacoplador recebesse um tratamento de sinal através de um Schmitt Trigger (74LS14). Na figura 35 é possível observar o esquemático do circuito remodelado.

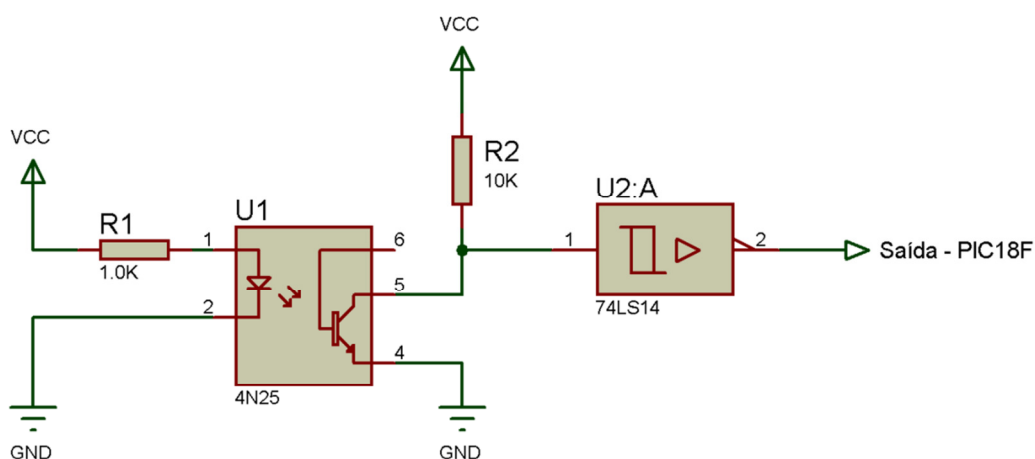


Figura 35 - Representação do circuito modificado contendo o Schmitt Trigger
Fonte: Autoria Própria (2013).

- **Problema encontrado:** Em função da velocidade diferente dos motores, o dispositivo apresentou um desvio de trajetória durante o movimento em linha reta. Esse desvio provoca perda de eficiência no processo, pois alguns pontos da quadra não são varridos.

- **Solução:** A solução encontrada utilizando a técnica PWM não mostrou resultados satisfatórios, visto que, um ajuste manual de parâmetros não garante, por exemplo, uma eventual perda de tração de umas das rodas, que pode ocasionar o desvio da trajetória. A aplicação de uma solução eficiente consiste na utilização de um sistema de controle em malha fechada, que mantém equivalente a velocidade dos motores com atualizações em tempo real, eliminando os parâmetros fixos do *software*. Na figura 36 é possível observar uma comparação entre as trajetórias real e teórica do dispositivo, bem como o ângulo de desvio ocasionado pela diferença de velocidade.

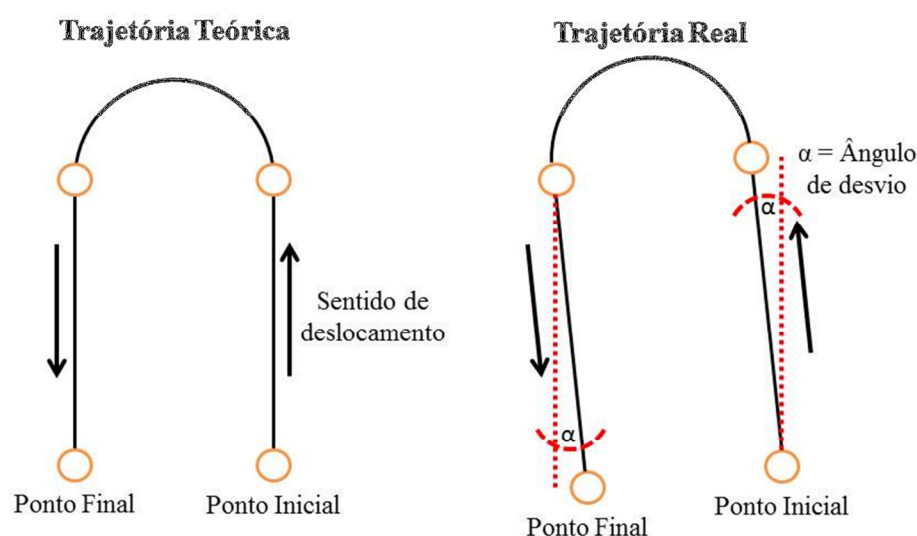


Figura 36 - Comparação entre trajetórias do dispositivo
Fonte: Autoria Própria (2013).

3.3.2 Mecânica

- **Problema encontrado:** Ao efetuar o movimento de curva, a roda frontal não apresenta mobilidade suficiente para acompanhar a trajetória.

- **Solução:** Alterar o suporte da roda, aumentando a distância entre o eixo e o centro de fixação da roda no suporte. Foi necessário realizar um retrabalho no novo suporte fabricado, de maneira que o furo fosse deslocado ainda mais, aproximadamente 40 mm no sentido oposto do eixo. Uma comparação entre o projeto original e modificado pode ser observado na figura 37.

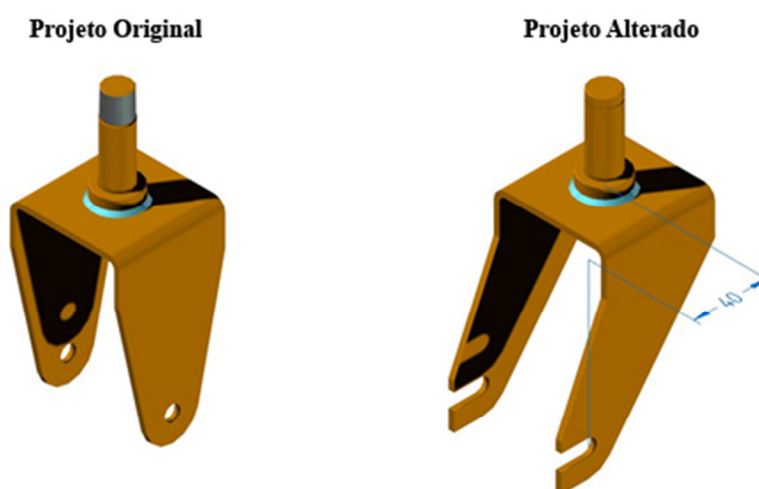


Figura 37 - Alteração suporte roda dianteira
Fonte: Autoria Própria (2013).

- **Problema encontrado:** Encontrar um ângulo ideal para limitar o movimento da roda.

- **Solução:** Utilizar o modelo matemático para realizar um estudo do movimento da roda e definir assim um ângulo ideal, sem que houvesse arraste durante o movimento de curva. Foi definido que esse ângulo deve ser aproximadamente 45° .

- **Problema encontrado:** Durante o movimento de curva, a roda interferiu com a carcaça do dispositivo.

- **Solução:** Desenvolver um fim de curso para o suporte da roda, de maneira que o movimento fosse limitado, impedindo assim a interferência com a carcaça do dispositivo, além de garantir um mesmo esterçamento do dispositivo para ambos os lados. O novo sistema está representado na figura 38.

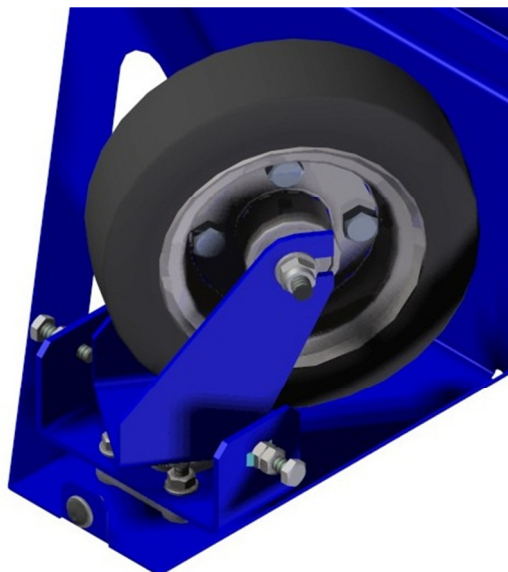


Figura 38 - Fim de curso desenvolvido para evitar interferência
Fonte: Autoria Própria (2013).

- **Problema encontrado:** Necessidade de simplificar o sistema de transmissão de movimento para as rodas. Projeto inicial contemplava a transmissão através de um conjunto de polias e correias.

- **Solução:** Realizar a transmissão acoplado o eixo do motor diretamente nas rodas. A comparação entre os sistemas, inicial e modificado, podem ser observados nas figuras 39 e 40 respectivamente.

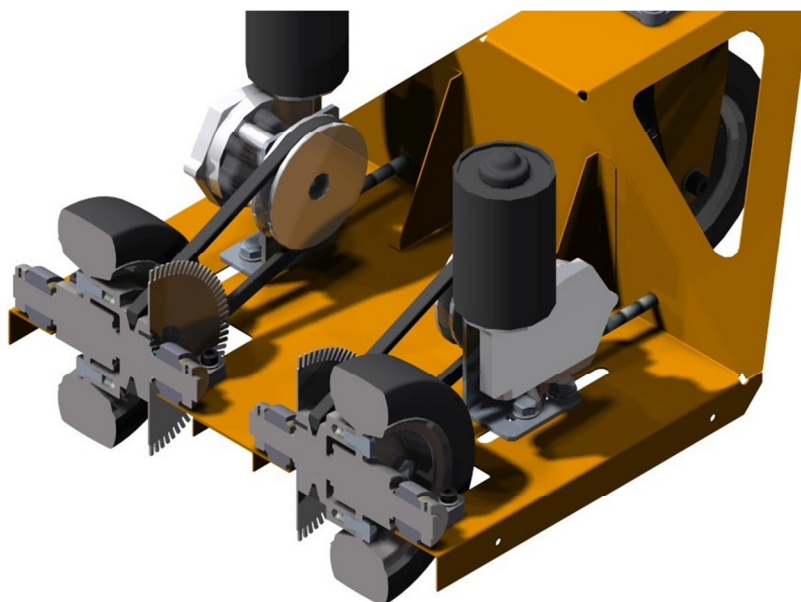


Figura 39 - Sistema de acionamento dos motores através de polias (projeto inicial)
Fonte: Autoria Própria (2013).

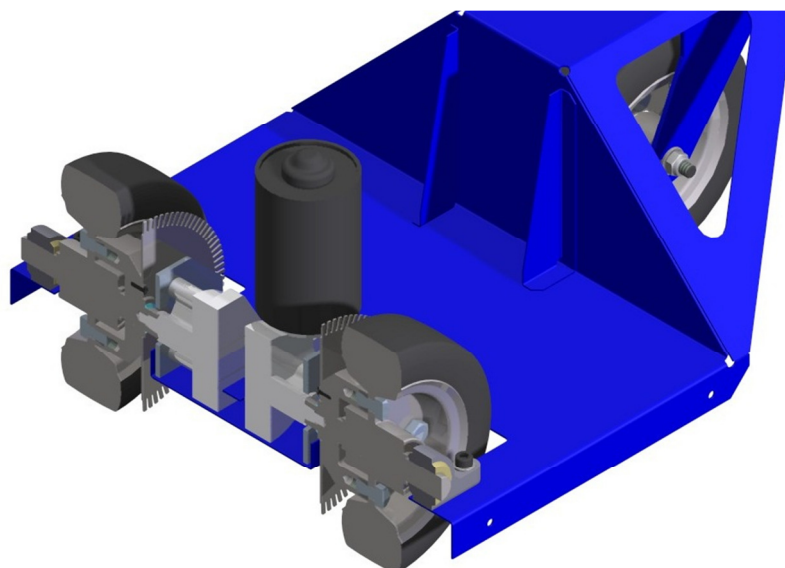


Figura 40 - Sistema de acionamento dos motores direto no eixo (projeto modificado)
Fonte: Autoria Própria (2013).

- **Problema encontrado:** O motoredutor trava as rodas motoras quando o sistema está desligado, impedindo o movimento manual do dispositivo.
- **Solução:** Adaptação de rodízios na parte inferior do braço utilizado para movimentar o dispositivo no modo manual, conforme a figura 41.

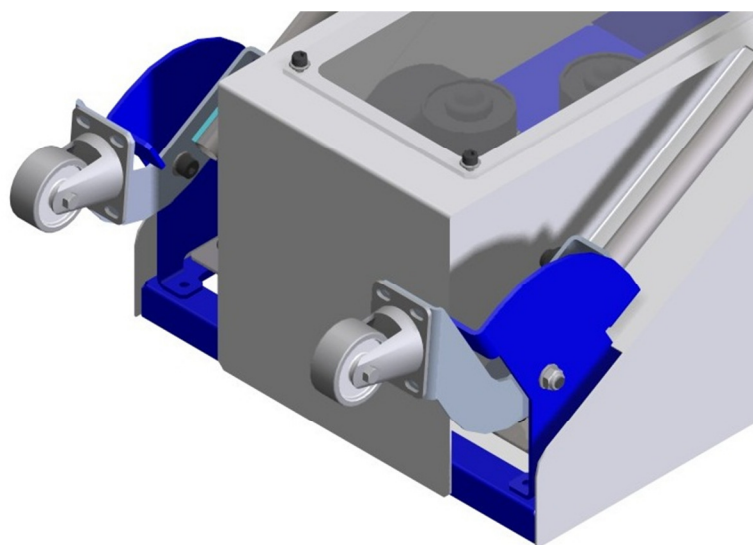


Figura 41 - Rodízio desenvolvido para permitir deslocamento manual
Fonte: Autoria Própria (2013).

4 CONCLUSÃO

Utilizando os conceitos e técnicas demonstradas no Capítulo 2 ‘Revisão de Literatura’, foi possível alcançar os objetivos propostos de desenvolver um protótipo para testar as principais funcionalidades de um dispositivo capaz de realizar movimentação autônoma em uma quadra de tênis, efetuando a operação de uniformização da superfície.

Os objetivos específicos de desenvolver sistemas mecânicos e eletrônicos que interligados resultariam no funcionamento do protótipo foram alcançados. Para esse fim, foram realizados testes com o objetivo de otimizar o projeto inicial, fato esse que resultou na modificação de diversos aspectos do projeto inicial em relação ao projeto final que foi devidamente validado.

Um dos maiores desafios do projeto foi a necessidade de desenvolver uma plataforma de desenvolvimento utilizando o PIC18F4550, pois o conhecimento adquirido pela equipe em relação a microcontroladores dizia respeito somente a plataforma 8051 da Atmel. Uma das etapas do projeto que consumiu a maior parte do tempo foi o desenvolvimento de uma plataforma confiável e robusta para programação do *firmware*.

Outro aspecto que consumiu uma grande parte de tempo de desenvolvimento foi sincronizar a rotação dos motores, visto que possuíam tempo de utilização diferentes quando foram adquiridos. Foi necessária a realização de vários testes com o PWM, testando diversas configurações de velocidade dos motores, até que foi encontrada uma que possibilitou o deslocamento do protótipo em linha reta. Uma solução para esse problema seria a implementação de um controle da velocidade em malha fechada, utilizando alguma técnica específica de controle.

Em relação ao projeto mecânico, o maior desafio se mostrou presente na necessidade de desenvolver um projeto composto por componentes de fácil aquisição, fabricação rápida e custo baixo. O projeto de um chassi rígido e de dimensões reduzidas diminuiu o trabalho realizado pelos motores, aumentando assim a possibilidade de utilizar o dispositivo por um tempo maior, sem a necessidade de recarga de bateria.

A metodologia de pesquisa utilizada se mostrou satisfatória, pois utilizando as etapas de projeto pré-definidas foi possível desenvolver o projeto de maneira coerente, sem que houvesse necessidade de grandes retrabalhos e modificações de estrutura em função da falta de planejamento na fase inicial.

5 IMPLEMENTAÇÕES FUTURAS

- Dispositivo capaz de se deslocar automaticamente para uma estação de recarga de bateria quando a mesma estiver em condições críticas (carga baixa).

Cenário: O dispositivo em modo de operação normal detecta através de um circuito eletrônico que a bateria está com carga baixa. O microcontrolador é responsável por pausar a ação corrente, e deslocar o dispositivo até a estação de recarga, que estaria posicionada estrategicamente ao redor da quadra. Existiria então a possibilidade do dispositivo retornar para o último ponto onde estava, ou recomeçar toda a trajetória do ponto inicial.

- Utilizar método de comunicação *wireless* para gerenciar o posicionamento do dispositivo dentro da quadra.

Cenário: Posicionar dentro da quadra, em pontos estratégicos, balizas emissoras e receptoras de sinais. O dispositivo móvel também deve possuir um circuito eletrônico dedicado para emissão e recepção de sinais. Durante todo o tempo, a partir do início da trajetória, ambas as balizas se comunicam com o dispositivo, trocando informações inerentes ao posicionamento na quadra. O microcontrolador utiliza esses dados recebidos para controlar o movimento do dispositivo, através de um algoritmo específico. A representação gráfica desse cenário pode ser observada na figura 42.

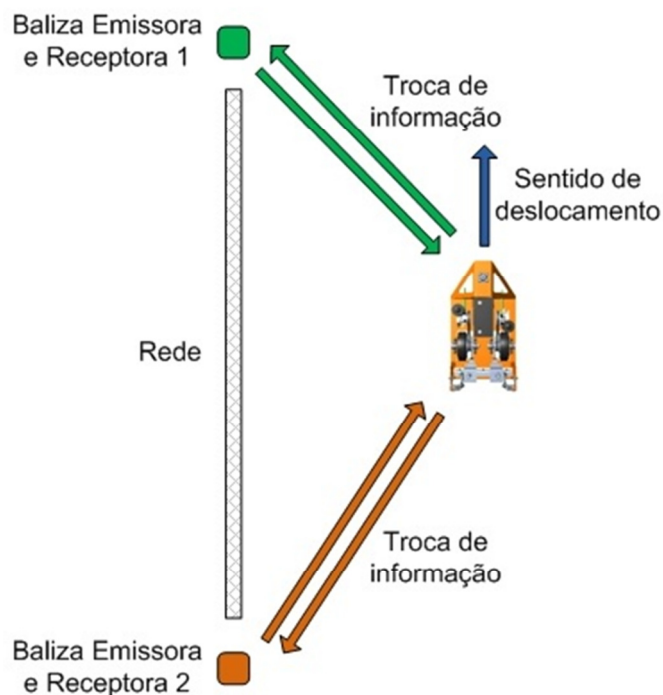


Figura 42 - Esquema de troca de informações entre dispositivo e balizas
Fonte: Autoria Própria (2013).

- Dispositivo capaz de realizar a operação de passagem de escovão nos dois lados da quadra, sem a intervenção do usuário.

Cenário: O dispositivo é posicionado no ponto inicial, o usuário habilita manualmente o início da operação. Após finalizar o primeiro lado da quadra, o dispositivo irá realizar um movimento para o outro lado, desviando de eventuais obstáculos no seu caminho (rede, por exemplo). Ao atingir o ponto inicial no outro lado, começa então o mesmo processo de passagem de escovão padrão, já realizado anteriormente. A implementação dessa melhoria seria mais eficaz se combinada com o método de comunicação *wireless* para gerenciar o posicionamento do dispositivo.

- Utilizar energia solar para recarregar baterias internas, eliminando assim o tempo de parada para recarga.

Cenário: Durante todo o trajeto, um circuito interno é responsável por transferir a energia captada pelos painéis solares para baterias. De acordo com a capacidade dos painéis solares, essa bateria poderia ser a única de 12V, que alimenta tanto o microcontrolador quanto os motores, ou poderia ser um conjunto de baterias responsáveis por alimentar somente o

microcontrolador. Desenvolver uma fonte de energia somente para o microcontrolador garante que mesmo em situações onde a bateria principal esgote, exista a possibilidade de ações serem tomadas a partir do *software*. Um resumo pode ser observado na figura 43.

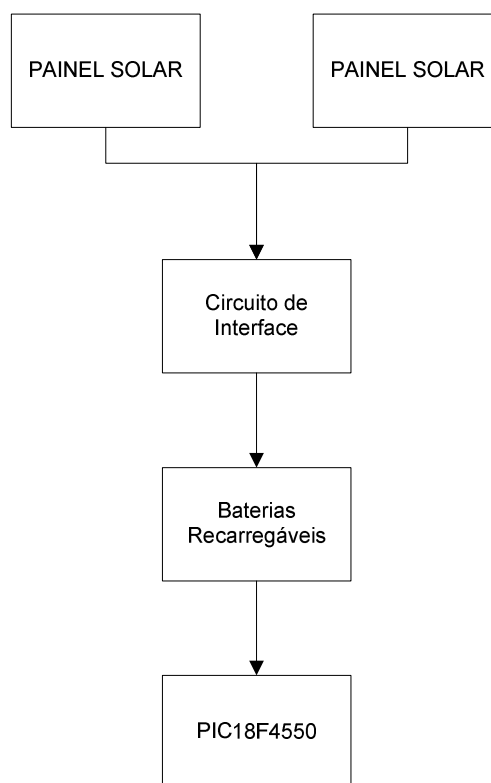


Figura 43 - Fluxograma da utilização de painéis solares para alimentação do circuito

Fonte: Autoria Própria (2013).

- Desenvolver um *firmware* capaz de ajustar automaticamente a velocidade de qualquer conjunto de motor que venha a ser utilizado.

Cenário: Ao invés de utilizar um valor fixo de frequência e *duty cycle* para configuração do PWM, uma rotina do *firmware* ajusta automaticamente a velocidade dos motores através de uma comparação entre os sinais recebidos dos sensores. Dessa maneira, mesmo com a troca dos motores originais, o dispositivo mantém o mesmo desempenho na operação, economizando tempo de programação e testes para configuração manual do PWM. Outro benefício dessa implementação é a possibilidade de utilizar motores com tempo de vida distintos, pois independente do desgaste mecânico, a velocidade é ajustada através de outros parâmetros.

REFERÊNCIAS

- AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de Potência**. 1. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2000.
- BERTONHA, Eduardo G. **Apostila Microcontroladores 8051**. Departamento Acadêmico de Eletrônica. UTFPR, 2007.
- BYTE CRAFT LIMITED. **First Steps with Embedded Systems**, Ontario, nov. 2002. Disponível em: < <http://www.bytecraft.com/downloads/firststeps.pdf>>. Acesso em: 13 fev. 2012.
- CARTA, Gianni; MARCHER, Roberto. **O Tênis no Brasil: de Maria Esther Bueno a Gustavo Kuerten**. 1. ed. São Paulo: Códex, 2004.
- COLSON RODAS E RODÍZIOS. **Catálogo de Produtos**. Paraná, 2010. 24 p.
- DELL, Ronald M.; RAND, David A. J. **Understanding Batteries**. 1. ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2001.
- FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. **TIP122 Datasheet**, California, out. 2008. Disponível em: < <http://www.fairchildsemi.com/ds/TI/TIP122.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2013.
- FELTRE, Ricardo. **Química**. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2004.
- FONTOURA, Fernando. **Tênis para Todos**. 1. ed. Canoas: Ulbra, 2003.
- GENEROSO, Daniel J. **Apostila Elementos de Máquinas**. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2009.
- GHIRARDELLO, Ariovaldo. **Apostila do Curso Técnico em Eletrônica Industrial – Modulação PWM**. Politec, 2009.
- GORDO, Nívia; FERREIRA, Joel. **Apostila de Elementos de Máquinas**. Rio de Janeiro: Telecurso 2000, 1995.
- HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **The Art of Electronics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- KRAKAUER, Jon. **Into the Wild**. 1. ed. Anchor Books: Nova Iorque, 1996.
- MCMILLAN, Gregory K.; CONSIDINE, Douglas. **Process/Industrial Instruments and Controls Handbook**. 5. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1999.
- NOLL, Valdir. **Apostila do Curso Pós-Técnico em Automação Industrial – Motores Elétricos**. CEFET SC, 2007.
- NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

OMRON CORP. **Technical Guide Rotary Encoders**. Japão, 2007. 1 p.

PAZOS, Fernando. **Automação de sistemas e robótica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.

ROBERT BOSCH LTDA. **Catálogo de Motores Elétricos: Aplicações Industriais**. São Paulo, 2011. 84 p.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKLE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7. ed. São Paulo: Bookman, 2005.

SOUZA, David José de. **Desbravando o PIC**. 8. ed. São Paulo: Érica, 2005.

STOCK MOLAS. Disponível em: <<http://stockmolas.com.br/index.html>>. Acesso em: 10 abr. 2013.

TELLA, Marcelo. Tênis: Os tipos de quadra. **Babolat**, Campinas, 2013. Seção Dicas de Tênis. Disponível em: <<http://www.babolat.com.br/babolat/site/index.php?area=babolat&navega=dicas&sub=00035>>. Acesso em: 14 abr. 2013.

UNIPOWER LTDA. **Datasheet Bateria UP1270**. São Paulo, 2011. 1 p.

APÊNDICE A - Comparação entre projeto inicial e final

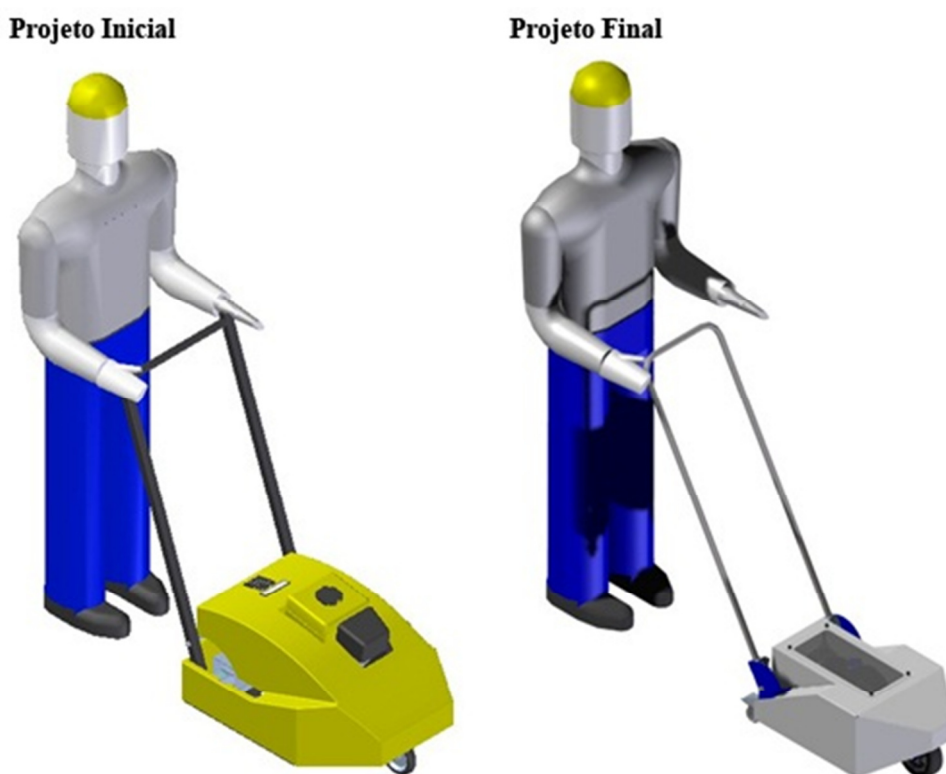


Figura 44 - Dispositivo sendo deslocado manualmente até a posição inicial
Fonte: Aatoria Própria (2013).

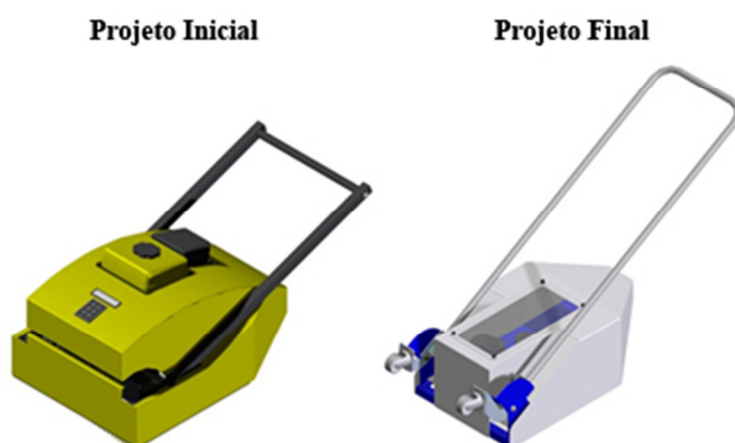
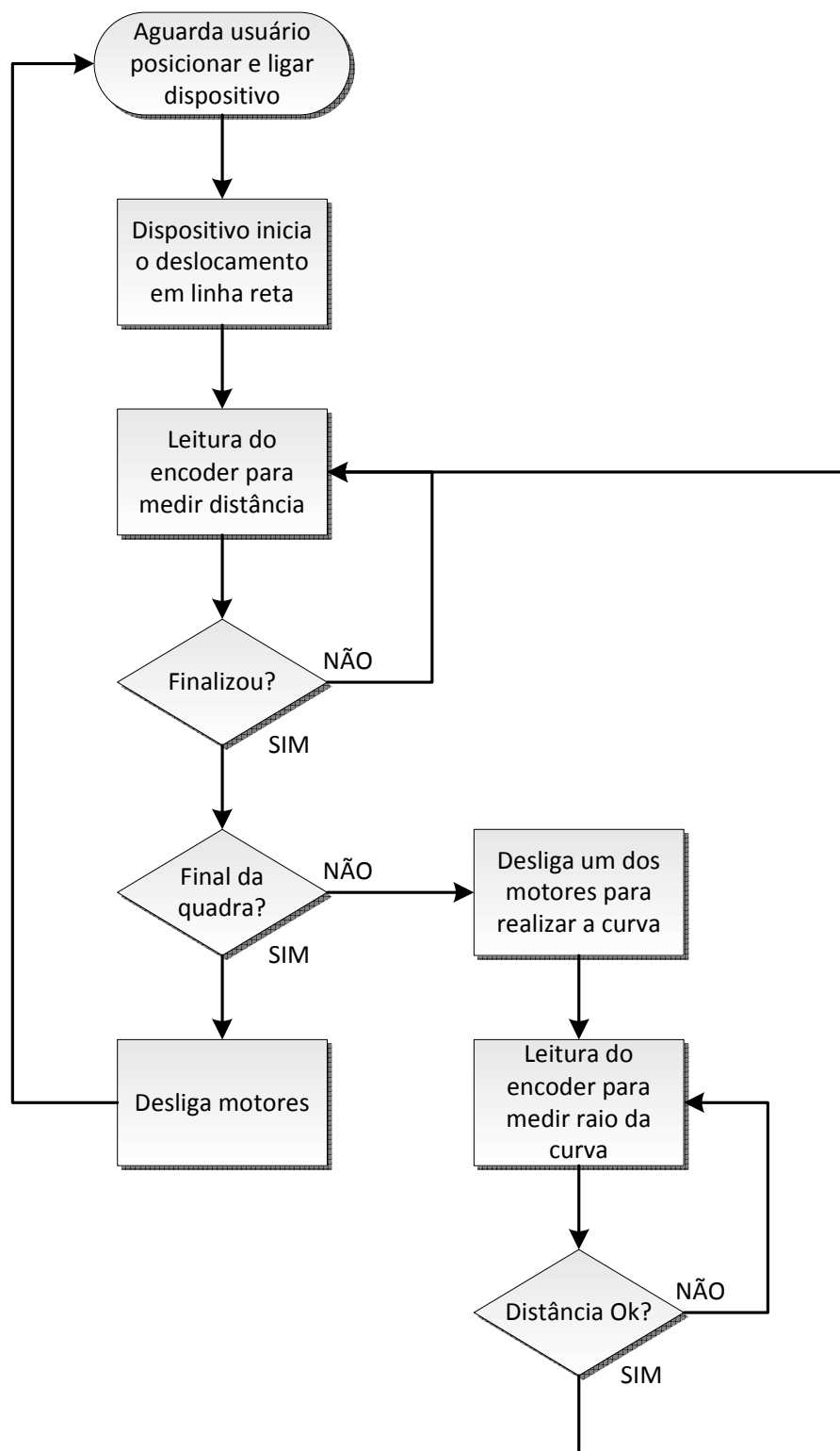


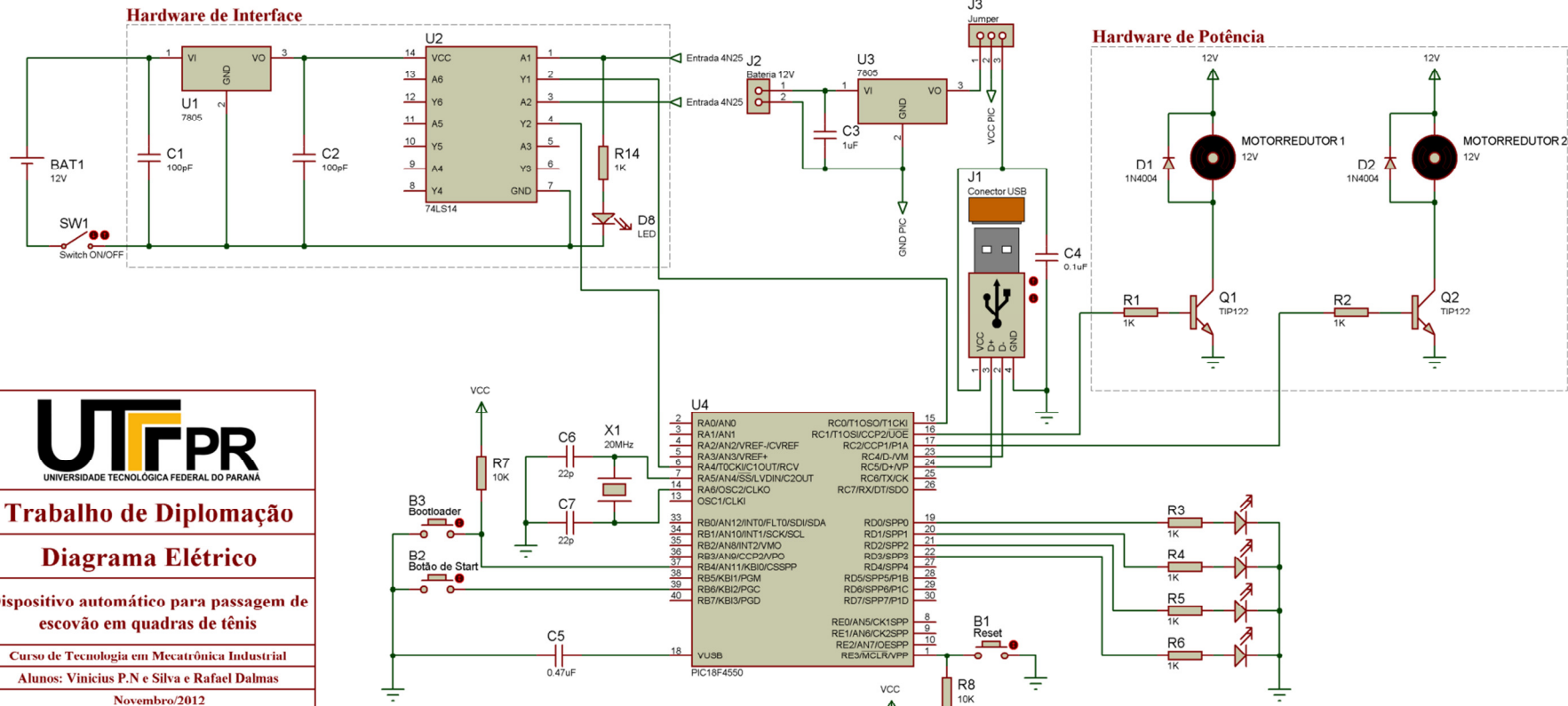
Figura 45 - Vista isométrica do dispositivo em seu projeto inicial e final
Fonte: Aatoria Própria (2013).

APÊNDICE B - Diagrama do *firmware* desenvolvido



Fluxograma 1 - Resumo do *firmware* desenvolvido para controle do dispositivo
Fonte: Autoria Própria (2013).

APÊNDICE C - Diagrama Elétrico





Trabalho de Diplomação

Diagrama Elétrico

Dispositivo automático para passagem de escovão em quadras de tênis

Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial

Alunos: Vinicius P.N e Silva e Rafael Dalmas

Novembro/2012

