

# Automação da relação de marchas de uma bicicleta, tendo como parâmetro a velocidade de deslocamento do ciclista

Jefferson Roncolato<sup>1</sup> e Carlos Renato Meneghetti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro de Controle e Automação, [jeffroncolato@gmail.com](mailto:jeffroncolato@gmail.com)

<sup>2</sup>Mestre em Engenharia Agrícola, professor do UNISAL, [carlos.meneghetti@sj.unisal.br](mailto:carlos.meneghetti@sj.unisal.br)

**Resumo** – A atenção do ciclista deve sempre ser a máxima possível, pois uma distração pode gerar um acidente. Este trabalho se propõe a facilitar o controle de troca de marchas de uma bicicleta, eliminando uma tarefa do ciclista, que poderá se concentrar mais na execução e planejamento do percurso. Foi desenvolvido um sistema de troca de marchas para os câmbios traseiro e dianteiro, que poderá fazê-lo de acordo com a velocidade do ciclista, sem intervenção do mesmo. Trata-se de um estudo de caso, experimental e qualitativo, com a construção de um protótipo físico, utilizando itens de mercado para tal. Seu funcionamento ocorreu conforme o projeto, realizando as trocas automaticamente.

**Palavras-chave:** câmbio automático, tecnologia em ciclismo.

**Abstract** – The attention of the rider must always be the maximum possible, as a distraction can cause an accident. This study aims to facilitate the gear shift control of a bicycle, eliminating the task of the rider, who can focus more on running and route planning. It should be implemented a gear shifting system for ass and forward exchange rates, which can make it according to the rider's speed without intervention of the same. This is a case study, experimental and qualitative, with the construction of a physical prototype using market items for this. Its operation occurred as the project by conducting exchanges automatically.

**Keywords:** Automatic exchange, technology on bicycles.

## I. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje as pessoas buscam cada vez mais qualidade de vida, em certo sentido buscam itens que lhe proporcionem bem estar, no meio em que vivem [1]. Neste contexto a busca por exercícios físicos aparece como um fator importante devido à redução de estresse, aumento do círculo social e maior expectativa de vida quando comparados às pessoas sedentárias, e assim os mais diversos tipos de atividades obtiveram um crescimento ao longo dos últimos anos, e inclui-se dentre eles a prática do ciclismo [2].

Ao contrário da maioria das atividades, que podem ser praticadas em um espaço delimitado, o ciclismo normalmente é praticado nas vias públicas, algumas

vezes em faixas separadas, outras disputando com o trânsito cada vez mais caótico das grandes cidades. Assim a atenção do ciclista deve sempre ser a máxima possível, pois uma distração pode gerar um acidente. Neste cenário, a troca de marchas pode desviar a atenção do ciclista, e mesmo que seja por um tempo mínimo, pode oferecer algum tipo de risco.

Considerando a hipótese apresentada, será construído um dispositivo capaz de realizar a troca de relações das marchas de uma bicicleta sem intervenção, levando em consideração a velocidade de deslocamento linear média ao longo do tempo, retirando esta tarefa do ciclista, propiciando-lhe conforto e melhor atenção.

No mundo tecnológico como o que temos hoje, carros e motos automáticos são cada vez mais presentes, visando o conforto dos usuários e a eficiência dos veículos. No entanto não há dispositivos semelhantes para bicicletas disponíveis comercialmente no Brasil.

Hoje o mercado para o ciclismo cresce muito em nosso país [3], e por este motivo, novas tecnologias e recursos que possam proporcionar uma melhora nesta atividade estão sendo procurados e desenvolvidos como aponta a literatura, abrindo uma perspectiva de inovação para inserção no referido mercado.

Este trabalho não se propõe a criar novos métodos e tecnologias, mas utilizar os já existentes, na tarefa de engenho uma solução a proposta estabelecida, entretanto, este trabalho poderá ser utilizado como base para desenvolvimento de outros dispositivos de cunho semelhante, como por exemplo, o controle das marchas da bicicleta, tendo como parâmetro os batimentos cardíacos durante a atividade de ciclismo, tendo como atuação a variação da frequência de pedaladas do ciclista.

Neste contexto, será desenvolvido o dispositivo, e mediante avaliação dos resultados, poderá ser dado seguimento ao projeto com intuito de disponibilizá-lo comercialmente.

A princípio, o dispositivo deverá funcionar controlando as marchas em uma razão direta da velocidade de deslocamento, de forma que quanto maior a velocidade, menor a relação de transferência de torque do ciclista para a bicicleta.

Para tanto, será eliminado o sistema mecânico atual, de cabo de aço em conjunto com uma manopla mecânica, e instalado um motor de passo acoplado mecanicamente ao dispositivo de marchas existente. O controle será realizado por um microcontrolador, que interpretará a velocidade do ciclista por um sensor acoplado a roda e os

comandos realizados pelo ciclista, e de posse destas informações, atuará no sistema.

## II. REFERENCIAL TEÓRICO

O projeto deverá ser realizado com base em componentes de mercado e teorias de engenharia, que serão descritas neste capítulo. Será tratado inicialmente do esclarecimento dos modelos atuais e os componentes necessários à implementação do projeto.

### A. A bicicleta e o câmbio

É difícil precisar como e quando foi inventada a bicicleta. Seus projetos primitivos datam de muito antigamente, desde um projeto de Leonardo da Vinci, inventor do século XV, passando por outros ao longo dos anos. No entanto a bicicleta em uma forma aproximada da que temos hoje surgiu apenas em 1861, pelos irmãos Pierre e Ernest Michaux, e o que a diferenciava dos modelos até então, era a presença de dois itens: pedal e guidão. Ambos permitiriam o controle da bicicleta pelo homem, na tração e controle de direção respectivamente [4].

Dessa forma, a bicicleta constitui-se basicamente de um quadro e duas rodas que lhe dão estrutura, um guidão que a direciona, os pedais que recebem a força motriz do ciclista e a transfere para as rodas através de um sistema de câmbio e transmissão por corrente, além de outros itens.

Após a disseminação deste meio de transporte, houve várias inovações visando aumentar a eficiência e segurança, como por exemplo, a inserção de freios a disco, sistema de suspensão dianteira e traseira, materiais em fibra de carbono.

Dentre estes conceitos está o câmbio para bicicleta, cuja função é suavizar o esforço necessário para pedalar em um aclive, bem como o multiplicar a força em um caminho plano ou em declive.

O câmbio de uma bicicleta é composto pelo conjunto pedal - pedivela, corrente, câmbios traseiro e dianteiro, e trocadores de marcha, localizados no guidão. Ao pedalar o ciclista exerce um determinado torque nos pedais que é transmitido pela coroa à corrente e desta à catraca (também chamada de cassete ou pinhão), que por sua vez, movimentada a roda traseira. Os câmbios traseiros e dianteiros incluídos a este sistema permitiram que se pudesse variar a relação de dentes entre a coroa e a catraca, a relação de torque e consequente velocidade, entre a pedalada do ciclista e o torque e velocidade efetivamente aplicada à roda.

As bicicletas atualmente disponíveis no mercado, para uso comum (não em competições), utilizam normalmente um conjunto com coroa de três velocidades, e catraca com seis ou sete velocidades, sendo respectivamente 48 x 38 x 28 dentes na coroa, e 14 a 28 ou 30 dentes na

catraca, possibilitando assim um conjunto de relações de dezoito ou vinte e uma marchas.

A relação de uma bicicleta pode ser dada pela razão entre o número de dentes da coroa pelo número de dentes da catraca como mostra a relação em Equação 1:

$$\frac{\text{Coroa}}{\text{Catraca}} = \text{Relação de Velocidade} \quad (1)$$

Dessa forma em uma bicicleta de vinte e uma marchas pode ter, em uma subida quando se utiliza a menor coroa e maior catraca, pelo princípio da Equação 1.

$$\frac{28}{30} \cong 0,9333$$

Também assim, em uma situação de descida, onde se utiliza a maior relação, com a coroa maior e a menor catraca, obtendo assim, a seguinte relação:

$$\frac{48}{14} \cong 3,4286$$

Levando em consideração que as bicicletas anteriores utilizavam uma relação mediana entre as aqui apresentadas, de apenas uma coroa e uma catraca, com valor próximo a dois, é possível verificarmos uma redução aproximada de 50 % da velocidade em uma subida e uma multiplicação de 150 % em uma descida (valores aproximados), quando considerando uma mesma cadência de pedaladas. Concomitantemente verificamos uma queda do torque necessário no pedal na primeira situação e um aumento na segunda.

Em suma, o câmbio tem o objetivo de suavizar as subidas, multiplicando o torque e reduzindo a velocidade, e potencializar a velocidade em um terreno favorável, com redução de torque e multiplicação da velocidade.

Não há um consenso na sequência de utilização das marchas de uma bicicleta [5]. Deve-se evitar a utilização dos extremos semelhantes em conjunto, como por exemplo, a coroa menor com a menor catraca ou a coroa maior com a maior catraca, estas combinações chamam-se câmbio cruzado, e danificam os componentes do câmbio dianteiro, bem como a corrente, que fica demasiadamente tensionada ou folgada.

Depois devem-se levar em consideração as relações possíveis de se formar, criando uma sequência lógica de graduação, como por exemplo, a exposta na tabela 1 [5].

Tabela 1 – Relações

Sequência	Coroa/Catraca	Dentes	Relação
1	1/1	28/28	1,0000
2	1/2	28/24	1,1667
3	2/2	38/24	1,5833
4	2/3	38/21	1,8095
5	2/4	38/18	2,1111
6	2/5	38/16	2,3750
7	3/5	48/16	3,0000
8	3/6	48/14	3,4286

Há outras sequências que podem ser utilizadas, dependendo da maturidade do ciclista ou durante seu aperfeiçoamento, como por exemplo, suprimindo sequências intermediárias e ou utilizando mais relações, mas o modelo apresentado mostra-se simples e coerente, e, portanto, será o utilizado para implementação deste projeto, sendo que as trocas deverão ser feitas por um motor acoplado ao câmbio.

### B. Motores de passo

Motores são dispositivos capazes de realizar trabalho rotativo ao serem alimentados por uma determinada energia. Inicialmente utilizavam-se motores a vapor, depois veio a popularização de motores de combustão interna, e posteriormente durante a segunda revolução industrial, iniciou-se a utilização em massa de motores elétricos, capazes de transformar energia elétrica em energia mecânica na forma de rotação do eixo.

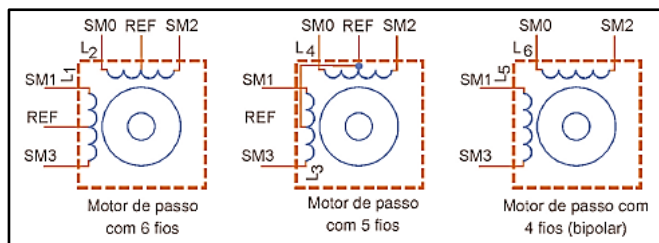
Os motores de passo são dispositivos semelhantes, que ao receber um determinado impulso elétrico, realizam um movimento do eixo que se percebe em variações angulares discretas. Normalmente têm baixo torque e velocidade [6].

Estes motores passaram a ser amplamente utilizados em sistemas onde o posicionamento deve ser preciso, como em dispositivos de informática (impressoras e *scanners*), máquinas e equipamentos que apresentassem tal necessidade, como por exemplo, um dispositivo que executa uma furação coordenada em uma determinada peça.

Este tipo de motor normalmente é ligado mecanicamente a um dispositivo de redução, com o intuito de aumentar o torque disponível no conjunto. Dessa forma também se melhora a precisão, pois são necessários mais passos ou impulsos elétricos para produzir o mesmo deslocamento angular no eixo do conjunto.

Estes motores normalmente possuem três formas mais comum de ligação: quatro cinco e seis fios, como representado na Figura 1.

Figura 1 – Ligações de motores de passo.



Fonte: [7]

Figura 2 – Exemplo de um motor de passo.



Fonte: [8]

Este tipo de motor, como o exemplo da Figura 2, é controlado aplicando pulsos sucessivos e sequenciais nas bobinas, sendo que cada pulso gera um passo. Os mais comuns são de 36, 48, e 72 passos por revolução, devendo estes serem controlados por um processador – controlador ou um *driver* controlador dedicado e específico.

### C. Controladores

Ao longo dos anos, a necessidade de controle na indústria e em equipamentos, fez com que a eletrônica desenvolvesse dispositivos que pudessem realizar esta tarefa. Inicialmente esses dispositivos, ainda eletromecânicos, eram pré-fixados, imutáveis, e normalmente tinham uma espécie de fita com os estágios de ligação e desligamento de atuadores que exercem determinadas funções em um equipamento.

Com o advento da eletrônica moderna e com os semicondutores formando transistores, surgiram diversos componentes de tamanhos cada vez menores e cada vez com maior capacidade. Entre estes componentes surgiu o processador, e em seguida, o microcontrolador. Mais tarde foram criados os controladores lógicos programáveis (CLP), e também os computadores [9].

Os microcontroladores são componentes eletrônicos dotados de processamento, entradas e saídas digitais e analógicas e sinais de comunicação serial, e outras variantes, de acordo com o modelo escolhido, todos integrados em um mesmo encapsulamento, para montagem em placa eletrônica, e passíveis de programação quantas vezes forem necessárias [9].

Atualmente existem muitos microcontroladores que são comercializados já montados em uma placa com conectores e *shields* prontos para utilizações específicas, como por exemplo, uma comunicação *bluetooth* ou um *driver* de controle de motor de passo.

Estes dispositivos tiveram sua forte popularização com a comercialização do *kit* Arduino, com a utilização de *kits* de fácil compreensão e bibliotecas prontas para maioria das aplicações, disponíveis gratuitamente na internet. Depois, diversos outros fabricantes entraram no mercado e eles estão disponíveis para compra online.

Um destes componentes é o Lab\_Uino, exibido na Figura 3, da empresa Proxsys, *kit* didático utilizado na universidade, que atende os requisitos do projeto.

Figura 3 – *Kit* Lab\_Uino



Fonte: [10]

Este controlador deve tomar ações, com base em seu software, de acordo com as informações de entrada, proveniente dos sensores do ambiente.

#### D. Sensores

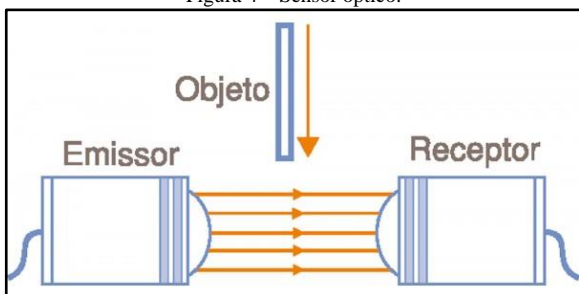
Com os sistemas passando a serem controlados eletricamente, se fez necessário definir em sinais elétricos todo o ambiente, para que o controle possa tomar decisões acertadas.

Em síntese, os sensores tem a capacidade de ‘sentir’ o ambiente ao nosso redor, inicialmente imitando os sentidos do ser humano, como a detecção de objetos, a identificação de uma determinada cor, ou a intensidade de um determinado ruído. Depois, a tecnologia permitiu que fossem criados sensores para todo tipo de grandezas físicas, como a medição de vácuo ou a medição de comprimento de onda de um raio laser [9].

Existem alguns tipos mais comuns de sensores, encontrados no mercado, como os eletromecânicos, os indutivos, capacitivos, ópticos e magnéticos, sendo que este será utilizado no projeto.

Os sensores ópticos, conforme a Figura 4, seguem o seguinte princípio de funcionamento: uma luz é emitida da cabeça emissora e de acordo com a luminosidade recebida na cabeça receptora, um sinal elétrico é emitido. Este sinal pode ser digital (booleano) ou analógico.

Figura 4 – Sensor óptico.

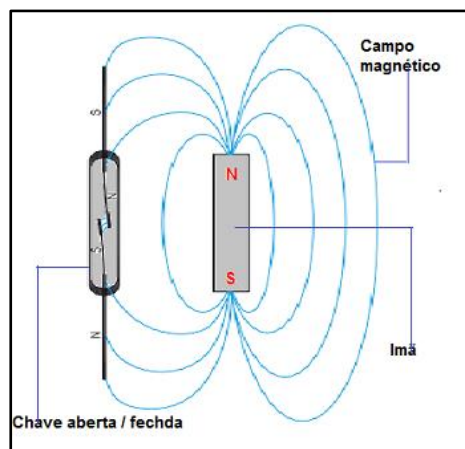


Fonte: [11]

Os sensores magnéticos, com representação na Figura 5, por sua vez, são dispositivos dotados de uma lâmina

rígida e uma flexível metálica, suscetível a campos magnéticos.

Figura 5 – Sensor magnético



Fonte: [12]

Ao aproximar um dispositivo que emita campo magnético, como uma bobina energizada ou magneto, a lâmina flexível se movimenta e encosta na fixa emitindo assim um sinal elétrico digital (booleano).

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho terá orientação exploratória e qualitativa, com estudo de caso, viabilizado pela aplicação em construção de um protótipo, em tamanho real.

O projeto e a construção do protótipo se deram sem a utilização de *softwares* complexos de modelamentos matemático ou mecânico, devido à utilização de componentes já existentes na bicicleta, sendo necessário apenas interligação e acoplamento dos dispositivos desenvolvidos.

Para o desenvolvimento do *software* do microcontrolador foi utilizado o AVRStudio, fornecido pela ATMEL, que é a fabricante do microcontrolador. Este editor possibilita a programação em C, traduzindo-a para linguagem de máquina no momento da compilação.

Também foi utilizado o *software* SiProgrammer da Applied Motion – Kalatec, disponível para *download* na internet. Este *software* é utilizado para programação do *driver* controlador do motor de passo.

As peças mecânicas foram projetadas em Solid Works, licenciado para a universidade e disponibilizado para os alunos, e usinadas pela RD Promaquinas Ltda, empresa especializada em usinagem.

### IV. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto em si engloba distintas áreas da engenharia de automação e controle, mecânica, elétrica e *software*. Cada parte tem vital importância, mas a essência é a integração das partes como um todo, assim será tratado da mecânica e da eletrônica, e do *software* como parte da integração do conjunto.

## A. Mecânica

O sistema mecânico trata-se principalmente da fixação do sistema motor do câmbio. Primeiro foi retirado o sistema de troca manual. Como o sistema atual já funciona com o recuo à posição inicial por mola, foi implementado um sistema motor para tracionar o cabo de aço de ambos os câmbios, como pode ser exemplificado em um sistema traseiro na Figura 6.

Figura 6 – Câmbio traseiro



Fonte: [13]

É proposto um dispositivo de fixação do motor, a partir de uma chapa de aço, fixa no cano principal da bicicleta por dois mordentes. A esta chapa foi fixado o motor de passo, bem como os componentes eletrônicos.

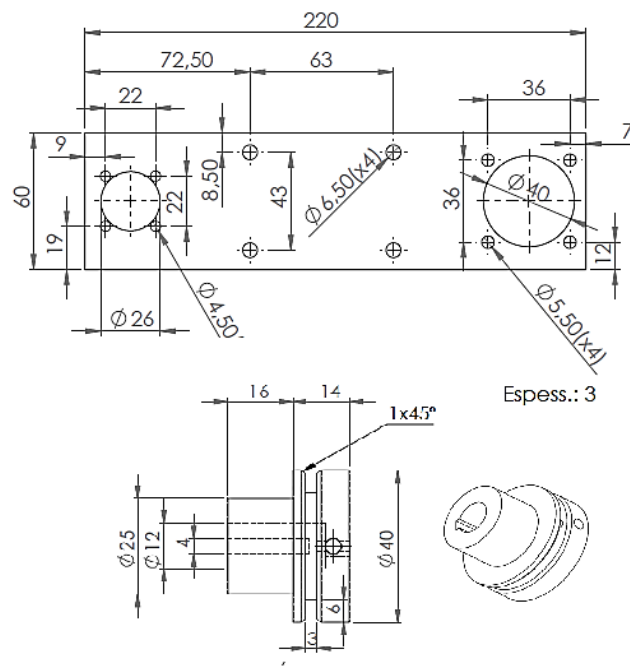
Ao moto-redutor foi acoplado um mancal de acionamento, como pode ser visto nas Figuras 7 e 8, que tem um sistema de fixação do cabo de aço, de forma que, quando o motor for acionado, girando o mancal, o cabo de aço traciona o câmbio na direção desejada.

Figura 7 – Mancal de tração.



Fonte: Acervo do autor

Figura 8 – Projeto mecânico



Fonte: Acervo do autor

A fixação dos sensores e botões do controlador foi feita diretamente no quadro.

## B. Elétrica

O sistema elétrico trata da interligação dos componentes eletromecânicos e eletrônicos, ao controlador. Serão utilizados dois motores de passo com *drivers* dedicados, dois sensores, um kit microcontrolador, seis botões tipo pulsante e uma bateria recarregável de 12 V, além de cabeamentos diversos.

Os dois motores de passo serão responsáveis por realizar o deslocamento dos câmbios, para troca das marchas. Para seu acionamento foram utilizados dois *drivers* do tipo transistorizado, comandados por pulsos enviados do microcontrolador. O *driver* é conectado diretamente na placa, através dos pinos de ligação. Para esta aplicação foram escolhidos motores de pequeno porte da Kalatec modelo KTC HT23, devido a necessidade de o peso ser reduzido, com possibilidade até de reaproveitamento de motores de outras aplicações. Neste caso os motores e *drivers* foram disponibilizados em empréstimo pela Robert Bosch Ltda.

O *driver* utilizado é o 3540i da Kalatec, também disponibilizado pela mesma empresa. Este *driver* tem por característica a possibilidade de se incluir internamente um programa de movimentação onde é possível predeterminar deslocamentos específicos a partir de uma entrada de dados digital, não sendo necessária a criação de um trem de pulsos para movimentação do motor.

O *driver* 3540i da Kalatec também possibilita a utilização de um sistema denominado micro-passo, que é a possibilidade de dividir cada passo do motor em muitos outros passos de menor grau, sendo possível a utilização de até 20000 passos por revolução. O Motor e *Driver* podem ser visualizados na Figura 9.

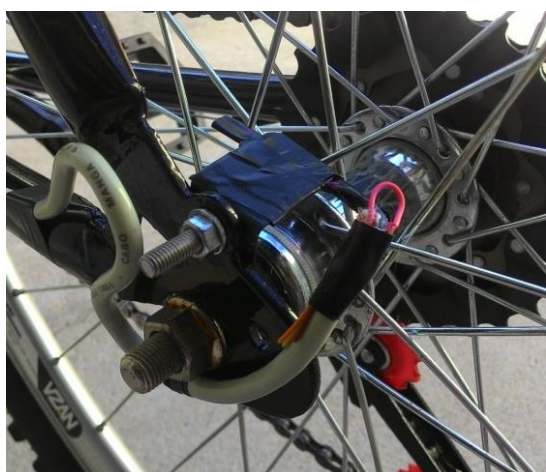
Figura 9 – Motor e *Driver*



Fonte: Acervo do autor

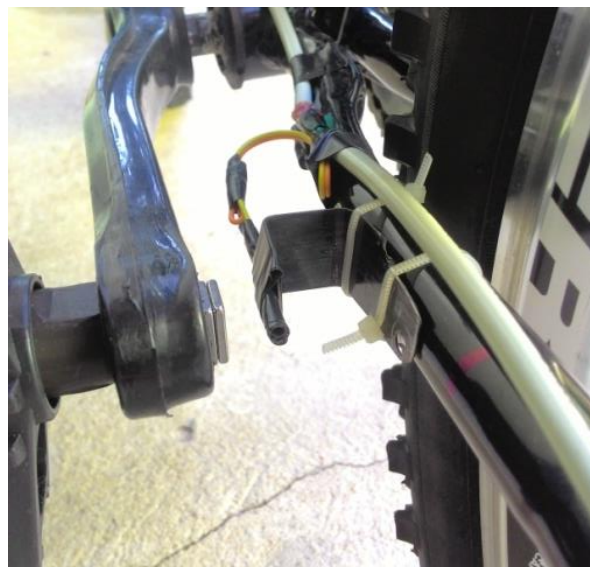
Os sensores são responsáveis pela leitura de velocidade da roda e pela frequência da pedalada do ciclista. O primeiro foi acoplado ao garfo traseiro, e realiza a leitura da passagem de um ímã posicionado no cubo traseiro e a partir dessa, calcula as rotações por minuto, doravante denominadas RPM. O segundo deverá ler a passagem do pé de vela, para ler a frequência de pedalada do ciclista, como pode-se visualizar nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Leitura RPM



Fonte: Acervo do autor

Figura 11 – Leitura de frequência



Fonte: Acervo do autor

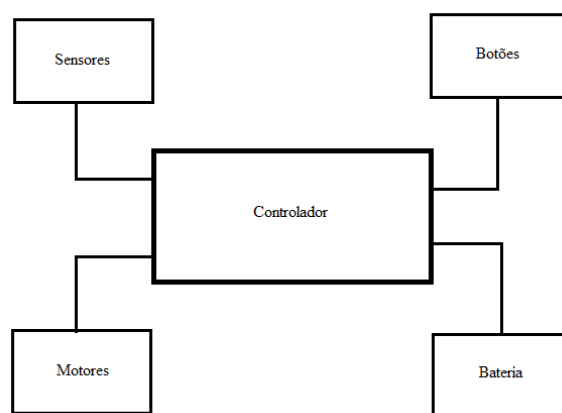
Os botões deverão ser fixados juntos aos manetes no guidão, juntamente com um *display* digital, possibilitando a troca manual caso o ciclista assim o deseje. Esta deverá ser a função “*one hand*”, que permite ao ciclista navegar por todas as marchas utilizando apenas uma das mãos, ou seja, poderá subir e descer as marchas sequencialmente, sem se preocupar com o fato de ser o traseiro ou dianteiro.

Também haverá um botão para navegação entre os modos de operação, para habilitar o modo manual “*one hand*” ou sequencial automático.

Todos estes dispositivos deverão ser interligados ao controlador, para que este faça o processamento e controle dos processos.

Estes dispositivos todos serão interligados conforme o diagrama de blocos mostrado na figura abaixo.

Figura 12 – Diagrama de ligação



Fonte: Acervo do autor

O controlador interpretará os dados dos sensores e dos botões, e agirá nos motores de forma adaptar as marchas de acordo com a velocidade requerida.

O sistema também deverá contar com uma bateria, na Figura 13, recarregável, para alimentação do sistema, durante o uso em campo.

Figura 13 – Bateria



Fonte: Acervo do autor

### C. Software

O *software* do sistema efetua a leitura dos dados de entrada para avaliar como agir em cada caso.

Há uma tela para acompanhamento e escolha do modo de funcionamento, que deve informar qual a marcha atual, a velocidade da bicicleta e a frequência das pedaladas do ciclista.

Com os sinais dos sensores enviando pulsos para o controlador, este medirá o tempo entre os pulsos, e calculará assim as medidas mencionadas. De posse destes dados, enviará os pulsos para o *driver* do motor que avança ou recua.

O *software* contém função que impede trocas muito rápidas de marchas, para evitar desgastes excessivos e desnecessários, além de, dessa maneira, filtrar possíveis erros de leitura dos sensores.

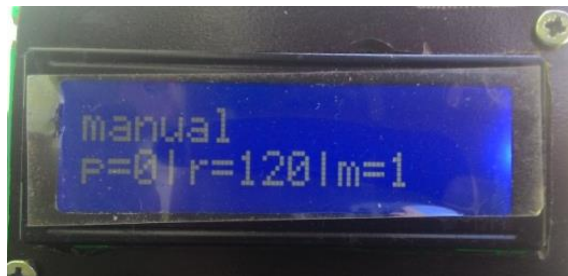
O modo manual com função “*one hand*”, possibilita a troca de acordo com o desejo do ciclista, independente da situação das leituras.

O modo automático-roda por sua vez troca as marchas de acordo com o aumento da velocidade da roda traseira que pode ser interpretada como uma relação da velocidade linear da bicicleta na superfície.

Por fim o modo automático-pedal troca as marchas de acordo com a frequência de pedaladas do ciclista, tendo como tendência manter o ritmo de movimentos do mesmo.

Os modos de funcionamento deverão ser alternados, de maneira sequencial entre “automático roda”, “automático pedal” e “manual”, sempre com visualização no *display* de interação com o ciclista, como pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 – Modo de funcionamento



Fonte: Acervo do autor

## V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificou-se que o projeto como um todo funcionou satisfatoriamente, considerando o objetivo inicial de realizar as trocas automaticamente e são semelhantes ao encontrado na literatura [14], [15] e [16].

O funcionamento foi testado montando a bicicleta em cavalete específico, para movimentação manual dos pedais e verificação do comportamento do sistema.

De modo abrangente, foi verificado um bom desempenho na troca das marchas, visto que o modo de troca é comum aos três modos de funcionamento. Os ajustes que se fizeram necessários na movimentação dos motores, via parametrização dos *drivers* controladores obtiveram o resultado explicitado na tabela abaixo, com uma amostra de 100 ciclos completos de troca.

Tabela 2 – Aproveitamento das trocas

Troca	Erros	%Total	% Erros
1-2	2	0,143%	02,128%
2-3	16	1,143%	17,021%
3-4	5	0,357%	05,319%
4-5	5	0,357%	05,319%
5-6	7	0,500%	07,447%
6-7	13	0,928%	13,839%
7-8	7	0,500%	07,447%
8-7	12	0,857%	12,769%
7-6	5	0,357%	05,319%
6-5	9	0,643%	09,574%
5-4	5	0,357%	05,319%
4-3	5	0,357%	05,319%
3-2	2	0,143%	02,128%
2-1	1	0,071%	01,064%

Fonte: Acervo do autor

O resultado demonstrado pode ser melhorado, na medida em que ajustes finos sejam implementados na movimentação dos motores de passo.

Os pontos de maior erro, destacados na tabela, são os que ocorrem na troca na coroa, duas vezes, e no retorno ao sair da última catraca. Os primeiros se devem a

dificuldade de ajuste uma vez que o câmbio dianteiro não guia a corrente através de uma engrenagem, mas por um guia lateral que desloca a corrente radialmente. O terceiro se deve a ajustes no posicionamento dos motores de tração dos cabos de aço.

Quanto aos modos de operação, os resultados foram bons, pois os sistemas reagiram como esperado. Na prática, os dois modos automáticos se comportam de maneiras bastante semelhantes. A maior diferença se mostra no momento em que se para de pedalar, que no modo de controle da frequência de pedaladas o sistema tenta corrigir no sentido de diminuir as marchas, interpretando uma diminuição da frequência, já no modo por velocidade, esta reação não acontece rapidamente.

Em uma situação urbana, isto se traduziria no momento em que o ciclista entra em uma descida e a bicicleta ganha velocidade. Se o ciclista para de pedalar a bicicleta em um caso diminui as marchas e no outro aumenta.

Este efeito poderia causar um problema no conjunto, pois as marchas não podem ser trocadas sem que se esteja pedalando. Para isso foi implementado uma função no *software*, que caso o ciclista parar de pedalar por um tempo específico, a troca de marchas é bloqueada.

Foi verificada também uma oscilação muito grande na leitura da RPM da roda traseira, pois a influência do campo magnético sobre o sensor continua mesmo após o deslocamento fora da região em que deveria acionar.

Neste caso foi necessário trazer o sensor magnético para o extremo do raio da roda, melhorando o ajuste, sem afetar a leitura, pois se trata da leitura de uma determinada posição angular. Também foi construído um filtro no *software*, que retarda a apresentação do valor lido, realizando uma média entre o valor atual e o valor anteriormente lido, de forma a minimizar as variações, porém não foi possível extirpá-las dado o conjunto eletrônico utilizado. Seria necessário o desenvolvimento de outro tipo de sensor que atendesse a maior precisão e menor tempo de resposta.

Outra necessidade foi a implantação de um sistema de movimentação dos motores manualmente, direto no *driver* em modo JOG (nome dado ao modo de trabalho do *driver* onde não há nenhum tipo de controle de posicionamento), para alinhamento manual do sistema antes do início do controle pelo sistema.

A bateria de 4,5 Ah mostrou-se suficiente. Durante os testes, com cerca de 20 a 30 trocas por minuto a autonomia chegou a cerca de duas horas.

O custo da montagem do projeto pode ser avaliado de duas formas: o custo estimado das peças e o custo real despendido para montagem, visto que alguns itens foram cedidos pela Robert Bosch Ltda, e outros foram reutilizados, como podemos verificar na Tabela 3.

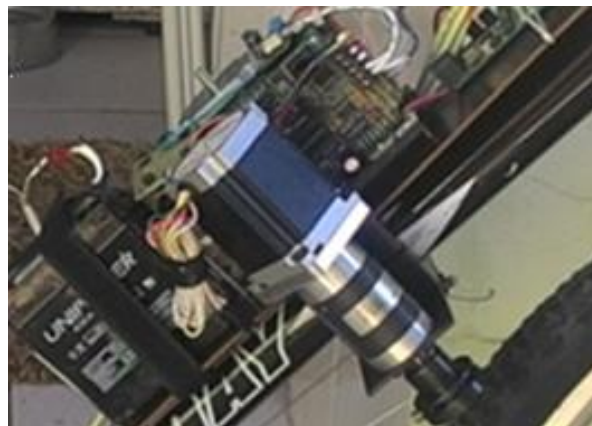
Tabela 3 – Custos

<i>Item</i>	R\$ <i>estimado</i>	R\$ <i>Gasto</i>	<i>Justificativa</i>
Motores	0400,00	-	Peças emprestadas
Redutores	3000,00	-	Peças emprestadas
<i>Drivers</i>	2000,00	-	Peças emprestadas
Lab_Uino	0100,00	-	Emprestado
Fiação	0020,00	0020,00	-
Cabos Com.	0100,00	0100,00	-
Botões	0020,00	0020,00	-
Acessórios	0120,00	0120,00	Ferramentas
Sensores	0010,00	0010,00	-
Peças Mec.	0350,00	0350,00	-
Bicicleta	0500,00	0500,00	-
Total	6620,00	1120,00	-

Fonte: Acervo do autor

Deve-se ressaltar o projeto trata-se de um protótipo qualitativo, e para que fosse comercializado, seria necessário o desenvolvimento de tecnologias e materiais, que sejam mais leves e mais compactos, dado que o aumento de peso de cerca de 3,5kg dos componentes utilizados, conforme abaixo, seria inviável para qualquer ciclista.

Figura 15 – Projeto finalizado



Fonte: Acervo do autor

## VI. CONCLUSÕES

Finalmente, foi observado que o projeto funcionou satisfatoriamente, atendendo o objetivo principal, que era a troca automática das marchas de acordo com a velocidade do ciclista com um bom aproveitamento das trocas.

Para referência a projetos futuros, sugere-se a instalação de um sistema de detecção de posição *home* ou posição de referência para cada um dos motores, para alinhamento automático ao iniciar o sistema e também trocar o sistema de leitura da RPM da roda traseira.

Com as medidas corretivas citadas e um ajuste finíssimo, o câmbio automatizado atenderia tranquilamente um ciclista não profissional.



Também seria interessante que o controlador estivesse equipado com tecnologia *bluetooth*, para interação com *smartphones*, onde se poderia criar aplicativos para controle do sistema e personalização da interação com o usuário.

O desenvolvimento do projeto mostra-se de grande valia, pois tem a abrangência das três ciências que são pilares da engenharia de automação e controle: a mecânica, na criação e modelamento das peças, a elétrica na alimentação dos sistemas e movimentação dos motores, e a programação, como integrador das partes e cérebro do sistema como um todo.

Os principais desafios foram o tempo e o desenvolvimento da forma como seriam efetuadas as trocas. Esse foi solucionado em conjunto com o orientador, e aquele poderia ser melhor explorado durante o curso de engenharia, como por exemplo, em uma disciplina de gestão de projetos, que proporcionaria maior preparo e consequente melhoria no desempenho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] VILARTA, R. *et al.* **Qualidade de vida e novas tecnologias**. Campinas: Ipês Editorial, 2007.
- [2] XAVIER, G. N. *et al.* **Promovendo o uso da bicicleta para uma vida mais saudável**, 2010. Disponível em: <[http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos\\_teses/EDUCA\\_CAO\\_FISICA/artigos/ciclismo.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/EDUCA_CAO_FISICA/artigos/ciclismo.pdf)>. Acesso em 05 de abril de 2016.
- [3] SPARTI, S. C., Mobilidade humana através da bicicleta. *Rev. Fac. Ciênc. Méd. Sorocaba*, v. 14, n. 3, p. 117 - 118, 2012.
- [4] SCHETINO, A. M., Ciclismo e Modernidade: apontamentos sobre a invenção da bicicleta e os primórdios do ciclismo no Rio de Janeiro. *ANPUH, XXIV Simpósio Nacional de História*, São Leopoldo, 2007.
- [5] CRUZ, W., Como passar as marchas da bicicleta, 2016. Disponível em: <<http://vadebike.org/2006/08/a-ordem-correta-da-passagem/>>. Acesso em 11 de maio de 2017.
- [6] BRITES, V. P., SANTOS, F. G., **Motor de Passo**. Tutorial, Escola de Engenharia, Centro Tecnológico, Universidade Federal Fluminense, 2008.
- [7] TRUCCO, V. **Motores de Passo**. Disponível em <<https://www.victortrucco.com/CNC/MotoresdePasso/MotoresdePasso>>. Acesso em 11 de maio de 2017.
- [8] TECNOTRONICS, **Divulgação de Produto**, <[http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-715167239-motor-de-passo-5v-4-fios-ideal-para-arduino-robotica-pic-\\_JM](http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-715167239-motor-de-passo-5v-4-fios-ideal-para-arduino-robotica-pic-_JM)>. Acesso em 27 de outubro de 2017.
- [9] ORDOÑEZ, E. D., PENTEADO, C. e SILVA, A. C., **Microcontroladores e FPGAs: aplicações em automação**. São Paulo: Novatec Editora, 2006.
- [10] PROXSYS, Placa de Aquisição e Treinamento, 2016. Disponível em <<http://www.proxsys2.lwsite.com.br/lab-uino>>. Acesso em 27 de outubro de 2017.
- [11] CLUBE DO HARDWARE, Sensores. Disponível em <[www.clubedohardware.com.br](http://www.clubedohardware.com.br)>. Acesso em 13 de maio de 2016.
- [12] PORTAL DO ELETRICISTA, Sensores Magnéticos. Disponível em <<http://www.portaleletricista.com.br/sensores-magneticos/>>. Acesso em 13 de maio de 2016.
- [13] CENTAURO, Divulgação de Produto. Disponível em <<http://www.centauro.com.br/bicicleta-caloi-aluminium-aro-26-freio-v-brake-cambio-traseiro-caloi-21-marchas-756013.html>>. Acesso em 21 de março de 2016.
- [14] AYRES, W. J. **CAMB: Cambio automatizado para bicicleta**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.
- [15] FORTI, A. W., **Projeto e otimização de uma transmissão continuamente variável (CVT) para bicicletas**. Dissertação de Mestrado. Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, 1997.
- [16] MULLER, G. R., **Câmbio de bicicletas automatizado baseado na cadência de pedaladas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Ciência da Computação. Itajaí, Universidade do Vale do Itajaí, 2014.