

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

**IGOR HUCHBERG DIAS
RAFAEL VALTER VARIANI**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE PARA
MOTOCICLETAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

IGOR HUCHBERG DIAS
RAFAEL VALTER VARIANI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE PARA
MOTOCICLETAS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à Disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial dos Departamentos de Eletrônica e Mecânica (DAELN/ DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Me. Guilherme Schneider

CURITIBA
2013

IGOR HUCHBERG DIAS
RAFAEL VALTER VARIANI

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE PARA MOTOCICLETAS

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 5 de dezembro de 2012, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Os alunos foram arguídos 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. Décio Estevão do Nascimento
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Juliano Mourão Vieira

Prof. Me. Guilherme Alceu Schneider
(Orientador)

Prof. Dr. José Aguiomar Foggiatto

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

Nossas vidas começam a morrer a partir do dia em que permanecemos calados sobre as coisas que realmente nos importam (KING, 1958).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus e as nossas famílias pelo apoio oferecido durante todas as nossas vidas.

Ao professor Guilherme Alceu Schneider por nos orientar neste trabalho.

Agradecemos aos professores do Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná que desempenharam com dedicação as aulas ministradas.

Agradecemos a Empresa Master Metal, pela ajuda no desenvolvimento e confecção das peças utilizadas no trabalho.

RESUMO

DIAS, Igor H.; VARIANI, Rafael V. **Desenvolvimento de um Sistema de Iluminação Inteligente para Motocicletas**. 2012.75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Departamentos Acadêmicos de Eletrônica (DAELN) e Mecânica (DAMEC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

Este projeto propõe o desenvolvimento de um sistema de iluminação inteligente para motocicletas, iluminando as curvas conforme os movimentos de inclinação. Para isso foi utilizado um sensor que mede a taxa de variação angular (giroscópio) e dois servo-motores acoplados a um farol de descarga a gás de xenônio. O objetivo do sistema é obter um fecho de luz sempre paralelo ao plano horizontal variando de acordo com o movimento de inclinação da motocicleta, melhorando a visibilidade nas curvas. Para isso foi utilizado um servomotor que gira o farol, deixando o fecho de luz sempre paralelo ao plano horizontal de iluminação independente da variação angular da motocicleta e um segundo servomotor foi utilizado para efetuar o movimento angular do farol. O sensor de variação de taxa angular faz a leitura constante do grau de inclinação da motocicleta e envia essa informação para a placa Arduino Duemilanove. A comunicação entre o sensor e o microcontrolador ocorre por um módulo na placa do sensor que faz a conversão do sinal de analógico para digital e disponibiliza esta informação para o microcontrolador pela interface I²C. A programação e depuração do código foram realizadas dentro do ambiente de desenvolvimento Arduino. Os testes foram realizados em um protótipo projetado de forma a permitir que os movimentos de inclinação da motocicleta fossem realizados com a mesma parada, simulando assim o comportamento do farol em uma curva. Colocando o protótipo contra a parede, a uma distância estipulada de 10 m, foi possível realizar ajustes no sistema e conferir os resultados. Com base nos testes realizados, os resultados foram considerados satisfatórios, pois atenderam o objetivo geral do trabalho.

Palavras-chave: Sistemas de Iluminação Inteligente para Motocicletas. Faróis Adaptativos.

ABSTRACT

DIAS, Igor H.; VARIANI, Rafael V. **Development of an Intelligent Headlamp Control System for Motorcycles**. 2012.75 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial) – Departamentos Acadêmicos de Eletrônica (DAELN) e Mecânica (DAMEC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

This project describes the development of an intelligent headlamp control system for motorcycles, illuminating the curves according to the inclination of the motorcycle. An angular rate sensor (gyro) was utilized for this, along with two servomotors and a HID (High Intensity Discharge) lighting system. The system goal is to obtain a light beam always parallel to the horizontal plane and the horizontal angle that varies according to the tilting motion of the motorcycle, improving visibility on bends. For this a servomotor was utilized that rotates the headlamp keeping the light beam always parallel to the horizontal plane regardless of the variation of the motorcycle inclination. A second servomotor was used to perform the horizontal angle variation of the lighting beam. The angular rate sensor performs the current reading of the angular rate of the motorcycle and delivers this information to the microcontroller board Arduino Duemilanove. The communication between the angular rate sensor and the microcontroller is provided by a module in the sensor board that allows the conversion of the analogical data into digital data and provides this information to the microcontroller via the I²C interface. For programming and code debug the Arduino development environment was utilized. The tests were performed with a prototype designed specially for this, allowing the angular motion of a still motorcycle, simulating the motorcycle inclination in a curve. Placing the prototype against the wall, at a stipulated distance, allowed the making of adjustments in the system and see the results. Based in the tests performed, the results were considered satisfactory as they met the general objective.

Key-words: Intelligent Headlamp Control System for Motorcycles. Adaptive Headlamps.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - A) SISTEMA CONVENCIONAL. B) SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE.	13
FIGURA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE FARÓIS	16
FIGURA 3 - A) LÂMPADA DE XENÔNIO. B) REATOR ELETRÔNICO.....	17
FIGURA 4 - CONTROLE EM MALHA ABERTA.....	19
FIGURA 5 - SERVO-MOTOR CONTROLADO POR PWM.....	20
FIGURA 6 - DIAGRAMA EM BLOCOS PARA UM SISTEMA EMBARCADO	21
FIGURA 7 - GIROSCÓPIO MECÂNICO.....	27
FIGURA 8 - SINAIS TÍPICOS DE SDA E SCL.....	31
FIGURA 9 - DEFININDO OS BITS DE "START" E "STOP"	32
FIGURA 10 - SEQUÊNCIA DE INSTRUÇÕES DO MESTRE PARA O ESCRAVO.....	32
FIGURA 11 - SEQUÊNCIA DE INSTRUÇÕES DO ESCRAVO PARA O MESTRE.....	33
FIGURA 12 - PLACA ARDUINO DUEMILANOVE:	34
FIGURA 13 - PROTÓTIPO DE SIMULAÇÃO COM O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE.....	38
FIGURA 14 - MECÂNICA DE MOVIMENTAÇÃO DO FAROL INTELIGENTE.	39
FIGURA 15 - FAROL UTILIZADO NO PROJETO.....	39
FIGURA 16 - DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO CICLO DE FUNCIONAMENTO.....	40
FIGURA 17 - ENDEREÇO DO DISPOSITIVO I ² C	43
FIGURA 18 - 1) PLACA DO SENSOR 2) PLACA ARDUINO.	44
FIGURA 19 - 1) CAIXA DE PROTEÇÃO DAS PLACAS. 2) CONVERSOR CA / USB.	44
FIGURA 20 - REGRA DO RETÂNGULO	46
FIGURA 21 - REGRA DOS TRAPÉZIOS	47
FIGURA 22 - SERVO-MOTOR	48
FIGURA 23 - AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO ARDUINO	49
FIGURA 24 - LEITURA DAS VARIÁVEIS EM AMBIENTE ARDUINO	50
FIGURA 25 - PROCESSO DE MEDIÇÃO DO FACHO DO FAROL.....	53
FIGURA 26 - QUADRO PARA MARCAÇÃO DOS ÂNGULOS	54
FIGURA 27 - FACHO DE LUZ BAIXA PARCIALMENTE OCULTA.....	55
FIGURA 28 - TESTE 1 – INCLINAÇÃO DE 0 GRAU COM O SISTEMA LIGADO.....	56
FIGURA 29 - FAROL PARA TRÁFEGO NA MÃO DIREITA.....	57
FIGURA 30 - TESTE 2 - INCLINAÇÃO DE 30 GRAUS PARA DIREITA COM O SISTEMA DESLIGADO.....	58
FIGURA 31 - TESTE 3 - INCLINAÇÃO DE 30 GRAUS PARA DIREITA COM O SISTEMA LIGADO	59

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	42
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DA PLACA DO SENSOR	42
TABELA 3 - RESULTADOS DESEJÁVEIS PARA O SISTEMA.....	52

LISTA DE SIGLAS

CA	Corrente Alternada
A/D	Analógico/Digital
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DAELN	Departamento Acadêmico de Eletrônica
DAMEC	Departamento Acadêmico de Mecânica
HID	High Intensity Discharge
SAE	Society of Automotive Engineers
SCL	Serial Clock (I ² C Interface)
SDA	Serial Data (I ² C Interface)
USB	Universal Serial Bus
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA	13
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	OBJETIVO GERAL	14
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTES	15
2.2	LÂMPADAS DE XENÔNIO	16
2.3	CONTROLE EM MALHA ABERTA	19
2.4	SERVO-MOTORES	20
2.5	SISTEMAS EMBARCADOS	21
2.6	SISTEMAS “X-BY-WIRE”	23
2.7	GIROSCÓPIOS	26
2.8	INTERFACE I2C	28
2.8.1	PROCEDIMENTOS DE COMUNICAÇÃO	29
2.8.2	TRANSFERÊNCIA DE DADOS DO DISPOSITIVO MESTRE PARA O ESCRAVO	32
2.8.3	TRANSFERÊNCIA DE DADOS DO DISPOSITIVO ESCRAVO PARA O MESTRE	33
2.9	PLACA CONTROLADORA	33
3	DESENVOLVIMENTO	37
3.1	PROTÓTIPO DE SIMULAÇÃO	37
3.2	ELETRÔNICA	40
3.2.1	FUNCIONAMENTO DO SISTEMA	40
3.2.2	PLACA DO SENSOR DE TAXA DE VARIAÇÃO ANGULAR	41
3.3	OBTENDO A POSIÇÃO ANGULAR	45
3.4	SERVO-MOTORES	47
3.5	PROGRAMAÇÃO	49
4	TESTES E RESULTADOS	52
4.1	RESULTADOS DESEJADOS	52
4.2	CONDIÇÕES DE MEDIÇÃO	53
4.3	REQUISITOS DE ILUMINAÇÃO	55
4.3.1	REQUISITOS GERAIS	55
4.3.2	REQUISITOS RELATIVOS AOS FACHOS DE LUZ BAIXA	55
4.4	RESULTADOS FINAIS	56
4.4.1	TESTE 1: INCLINAÇÃO DE 0 (ZERO) GRAU – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE LIGADO	56
4.4.2	TESTE 2: INCLINAÇÃO DE 30 GRAUS – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE DESLIGADO	57
4.4.3	TESTE 3: INCLINAÇÃO DE 30 GRAUS – SISTEMA DE ILUMINAÇÃO INTELIGENTE LIGADO	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS	62

APÊNDICES	65
APÊNDICE A – CÓDIGO DO PROGRAMA	65
APÊNDICE A – CÓDIGO DO PROGRAMA (CONT.)	66
APÊNDICE B – TESTES COM O SISTEMA DESLIGADO	67
APÊNDICE C – TESTES COM O SISTEMA LIGADO	68
ANEXOS	69
ANEXO A – ESQUEMA ELÉTRICO PLACA ARDUINO	69
ANEXO B – ESQUEMA ELÉTRICO DA PLACA DO SENSOR DE VARIAÇÃO ANGULAR	70
ANEXO C – DEFINIÇÕES DE PORTAS DA PLACA DO GIROSCÓPIO	71
ANEXO D – TOLERÂNCIA DE COR	72

1 INTRODUÇÃO

A eletrônica embarcada nos automóveis está muito mais presente no nosso dia a dia do que podemos perceber. Houve uma evolução exponencial da quantidade de circuitos eletrônicos utilizados para controlar e monitorar desde funções básicas do veículo, como temperatura do motor, até funções mais elaboradas e que exigem alto nível de confiabilidade como o caso dos freios ABS (BRAGA, 2007).

Tal uso da eletrônica trouxe para os veículos de passeio tecnologias antes vistas somente em carros de Fórmula 1. Hoje, veículos equipados com computador de bordo fornecem ao motorista dados como consumo de combustível, condições do motor, temperatura e pressão dos pneus, etc (BRAGA, 2007).

Neste contexto o sistema de iluminação é parte fundamental da segurança dos veículos e vem sendo continuamente aprimorado ao longo dos anos. Faróis direcionais foram introduzidos como uma opção no Citroën DS em setembro de 1967. Atrás dos faróis existia uma engrenagem que, guiada pelo movimento do volante de direção, movimentava os faróis variando o ângulo em até 80 graus, com a intenção de iluminar melhor o caminho do motorista através de curvas, acompanhado sua curvatura através do movimento do volante (NICOSUR, 2012).

Essa mesma idéia ainda está presente nos modelos da marca francesa e em muitas outras marcas. Na metade dos anos 2000 a Citroën foi a primeira marca a introduzir no mercado faróis de *Xenon Dual Function* com o modelo C5. Nesse sistema sensores analisam a posição da roda através da barra de direção, movimentando os faróis em até 15 graus (NICOSUR, 2012).

Seguindo estas tendências da indústria automobilística, este Trabalho de Conclusão de Curso visa apresentar um sistema de iluminação inteligente empregado em uma motocicleta comum, iluminando melhor as curvas de acordo com o movimento realizado pelo motociclista.

1.1 Problema

Por causa dos altos índices de acidentes entre os motociclistas, todo e qualquer equipamento de segurança que venha a ajudar a diminuir acidentes no trânsito e nas estradas devem ser implementados. Dessa forma, a solução encontrada a partir do desenvolvimento deste trabalho pretende aumentar a segurança nas motocicletas e inovar ao criar um produto pouco difundido no mercado de motocicletas.

Os faróis convencionais fixos concentram o seu feixe de luz em uma frente única fixa. Em curvas, isto significa que a luz pode estar direcionada para o tráfego que vem em sentido contrário, cegando outros condutores e deixando a curva na escuridão. Por outro lado, os faróis inteligentes adaptáveis, mostrados na figura 1, são faróis giratórios e que apontam sempre na direção da estrada. O caminho à frente é mais bem iluminado e os obstáculos ficam visíveis mais cedo. Isto fornece benefícios de segurança significativos quando se faz curvas durante a noite ou sempre que a visibilidade seja ruim (SANTOS, 2012).

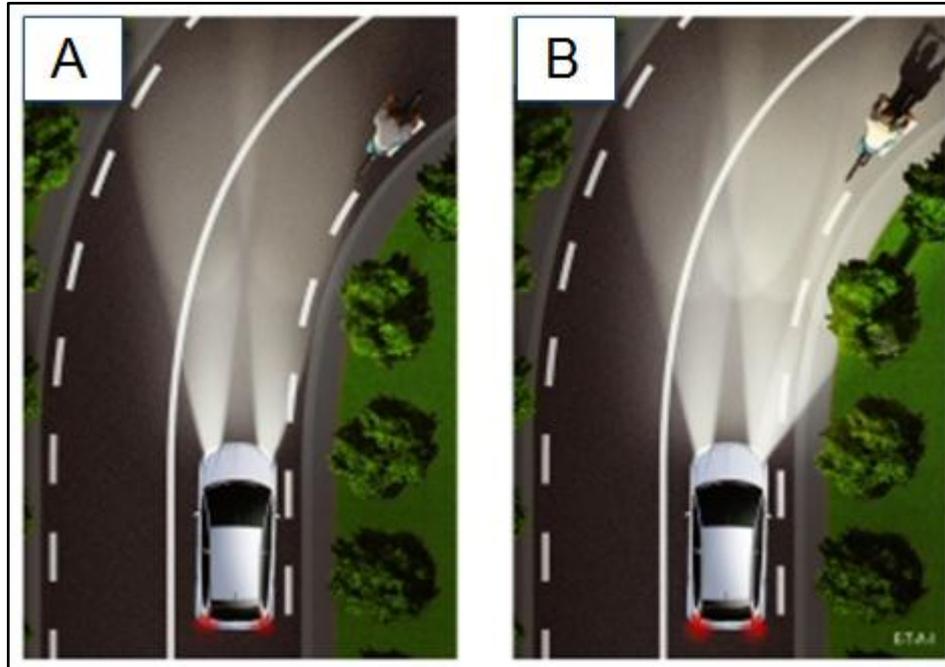


Figura 1 - A) Sistema convencional. B) Sistema de iluminação inteligente.
Fonte: Santos (2012)

1.2 Justificativa

O sistema de iluminação inteligente atinge áreas que os sistemas de iluminação convencionais não alcançam, aumentando a visibilidade durante a noite ou em situações adversas como intempéries. Isso permite que o motorista veja as condições da estrada de maneira mais clara, diferenciando outros veículos e possíveis obstáculos.

Os faróis adaptativos asseguram melhor visão da estrada. Quando o condutor entra numa curva, o feixe de luz dos faróis muda de direção para seguir a direção da estrada. Assim, com melhor visibilidade, o condutor sabe sempre o que está a sua frente (SANTOS, 2012).

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo geral*

Construir um protótipo para um sistema de farol inteligente adaptado em motocicleta.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Pesquisar sobre utilização de sistema inteligente em veículos
- Pesquisar sistemas de faróis dinâmicos
- Pesquisar técnicas envolvidas no desenvolvimento do protótipo (geroscópios, microcontroladores, servo-motores)
- Estudar e compreender o microcontrolador AVR ATmega
- Desenvolver o *firmware* para a aplicação
- Desenvolver a estrutura do ambiente para a realização dos testes. Não será realizado em vias públicas
- Integrar os componentes do sistema em um protótipo
- Realizar os testes de funcionamento do protótipo

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo foi feita a revisão bibliográfica a respeito das tecnologias e conceitos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Apresenta-se o conceito e a utilização de sistemas de iluminação inteligente em veículos de passeio, sistemas *X-by-Wire* e os benefícios da utilização de lâmpadas de descarga de gás nos faróis no lugar das lâmpadas halógenas convencionais. Será apresentado também o funcionamento dos componentes utilizados no trabalho como servomotores, microcontroladores e o princípio de funcionamento dos sensores de taxa de variação angular.

2.1 Sistemas de iluminação inteligentes

Como mencionado anteriormente, nos faróis convencionais fixos o fecho de luz sempre aponta para frente, independente se o carro está ou não fazendo uma curva. Neste caso, a iluminação é boa somente se estamos em uma reta, porém quando ocorre uma curva, a visão ficará limitada, e só se vê onde o farol ilumina, neste caso só para frente. Não se tem iluminação na parte de dentro da curva, que é o sentido do fluxo do veículo, e onde é fundamental que se tenha iluminação (AUTO GURU, 2011).

Este problema é resolvido, fazendo com que os faróis virem e se adaptem à curva que está sendo feita. Com os faróis direcionais, o fecho de luz vira e se adapta, iluminando onde mais se precisa que é a parte de dentro da curva, seja ela para a direita ou para a esquerda. Com isso o campo de visão é muito maior e mais preciso, sem desperdício de iluminação, e a segurança ao dirigir a noite é aumentada consideravelmente (AUTO GURU, 2011).

A tecnologia, também usada nos modelos C5 e C6 da Citroën, tem dupla função: farol baixo e alto. A vantagem do sistema é que o feixe de luz ilumina a parte interna das curvas por onde o carro passa o que possibilita a visão antecipada de obstáculos e outros veículos. O ângulo de iluminação dos faróis pode chegar a 15 graus (FRANCO, 2012).

Para indicação mais precisa, a altura é regulada por dois sensores na barra estabilizadora, que medem a distância da carroceria em relação ao solo. Um

calculador no farol esquerdo analisa a inclinação do carro e posiciona o suporte da lâmpada (FRANCO, 2012).

Para efeito de comparação a figura 2 mostra o comportamento de três tipos de faróis automotivos que equipam carros de passeio atualmente: 1) Faróis direcionais de xenônio, 2) Faróis de xenônio e 3) Faróis com lâmpadas halógenas. Pode-se perceber que o alcance do fecho de luz dos faróis de xenônio é maior do que os faróis de lâmpadas halógenas, bem como o fecho de luz dos faróis direcionais de xenônio iluminam melhor a parte interna da curva.

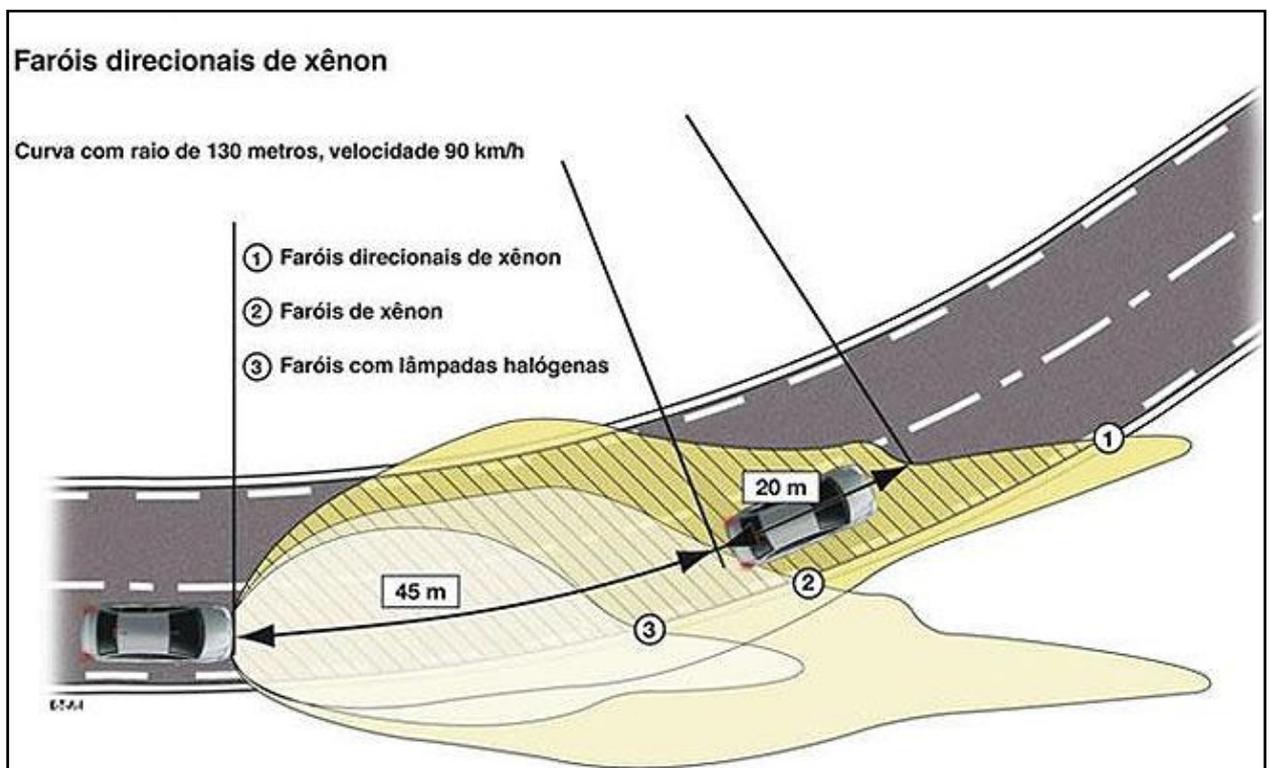


Figura 2 - Comparação entre faróis
Fonte: Franco (2012)

2.2 Lâmpadas de Xenônio

As lâmpadas de xenônio estão na família de lâmpadas de descarga, que tem como característica principal a emissão da luz através de descarga elétrica na forma

de um arco. Em contrapartida, as lâmpadas halógenas convencionais emitem sua luz a partir de um filamento de tungstênio (OSRAM, 2012).

A tecnologia de lâmpadas de xenônio consiste de um arco de luz entre dois eletrodos em um micro ambiente de gás de xenônio e sais de metal halóide hermeticamente vedado em uma minúscula cápsula de quartzo. Para este sistema, é preciso uma fiação apropriada e um reator eletrônico para iniciar e manter a descarga elétrica. A figura 3 mostra a lâmpada de xenônio e o reator eletrônico (OSRAM, 2012).

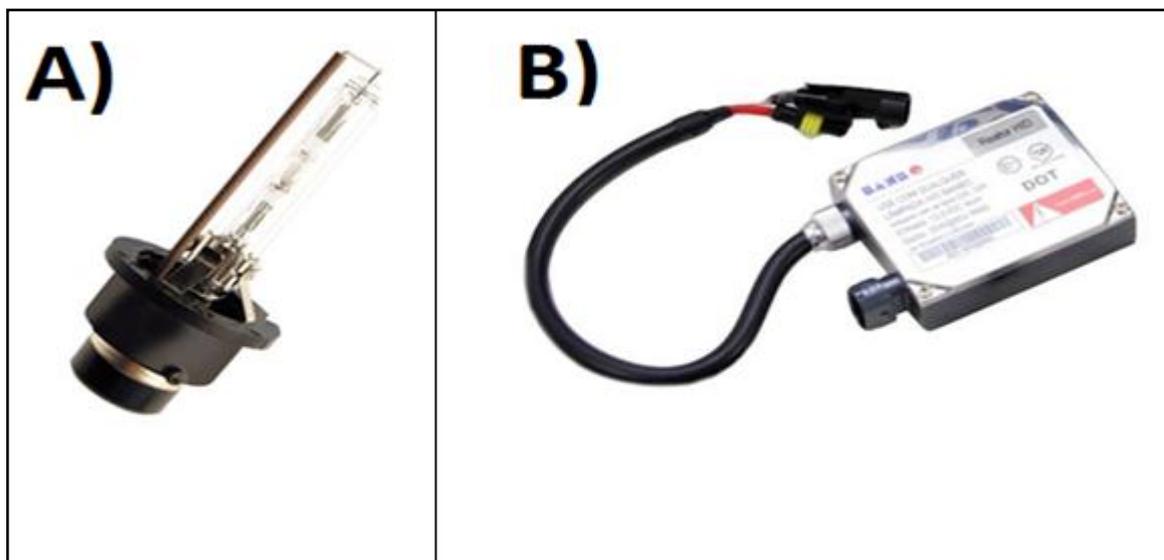


Figura 3 - A) Lâmpada de xenônio. B) Reator eletrônico.
Fonte: Osram (2012)

Deve-se prestar atenção ao fato de que as lâmpadas de xenônio estão aprovadas para uso somente em faróis desenvolvidos para este tipo de lâmpada. Na Europa, os faróis com lâmpada de xenônio devem ser dotados de sistemas automáticos de nivelamento e limpeza. Devido à sua alta tensão, esses produtos só devem ser substituídos em oficinas autorizadas (OSRAM, 2012).

Alguns fabricantes oferecem *kits* de conversão de faróis, de maneira a permitir que os motoristas migrem para a luz de xenônio. Os regulamentos das normas SAE e Contran 227 não permitem o uso deste sistema de adaptação (DETRAN, 2012).

Os faróis desenvolvidos para lâmpadas halógenas não podem ser adaptados com lâmpadas de xenônio, pois provocam alto índice de ofuscamento e um aumento significativo de risco de acidentes de trânsito. A razão disto é a diferença no formato do filamento das lâmpadas de halogênio e de xenônio, que é em forma de arco. O uso de *kit* xenônio está sujeito à multa de trânsito por descumprimento da legislação local (OSRAM, 2012).

Características das lâmpadas de xenônio (OSRAM, 2012):

- Consomem menos energia (35W contra 55W das lâmpadas halógenas).
- Iluminam mais: 3000 lumens (contra 1100 lumens das lâmpadas halógenas).
- Com 4.100 Kelvin, as luzes de Xenônio possuem uma temperatura de cor mais próxima da luz natural do que a luz de halogênio convencional (3.200 K) e, portanto, são mais suaves aos olhos.
- Um brilho maior significa que a rodovia fica bem mais iluminada. Portanto, os motoristas permanecem focados e podem reagir mais rapidamente a quaisquer sinais, obstáculos ou perigos à frente do veículo. A difração da luz é reduzida a um mínimo, de forma que o tráfego em sentido contrário não ofusque a visão.
- Possuem uma vida útil média de 3.000 horas de operação e um risco de falhas extremamente baixo.

De acordo com a Resolução Nº 277 do Contran, existem disponíveis vários espectros de temperatura de cor para lâmpadas de xenônio. Todavia, as coordenadas tricromáticas da luz dos feixes emitidos pelos faróis utilizando-se de fontes de luz de descarga de gás devem estar dentro dos limites mostrados no quadro 1 (expressas em coordenadas cromáticas CIE) (DETRAN, 2012).

Cor	Limites
Azul:	$x \geq 0,310$
Amarelo	$x \leq 0,500$
verde:	$y \leq 0,150 + 0,640 x$
verde	$y \leq 0,440$
roxo:	$y \geq 0,050 + 0,750 x$
vermelho	$y \geq 0,382$

Quadro 1 - Espectros de temperatura de cor para lâmpadas de xenônio
Fonte: Autoria própria

No anexo 4 é mostrado um gráfico dos limites de temperatura de cor, expressos em Kelvin, que a lâmpada xenônio pode estar situada.

O farol composto por este tipo de lâmpada possui um sistema ótico composto por: refletor, lente e mecanismos de regulagem de fecho, para guiar a luz emitida e ao mesmo tempo manter os índices de ofuscamento dentro dos níveis permitidos pelas normas de cada país (OSRAM, 2012).

Além de melhorar a visibilidade do motorista, a qualidade de iluminação de lâmpadas de xenônio diminui o cansaço visual. Os faróis deste tipo produzem 200% a mais de luz do que os sistemas equipados com lâmpadas convencionais.

2.3 Controle em Malha Aberta

O controle em malha aberta consiste em aplicar um sinal de controle pré-determinado, esperando-se que ao final de um determinado tempo a variável controlada apresente um determinado valor ou comportamento desejado. Mais especificamente, o sinal de controle não é calculado a partir de uma medição do sinal de saída (GAYAKWAD, 1988).

A estratégia de controle empregada neste trabalho consiste na estratégia de controle em malha aberta, pois, após aplicar o sinal à saída do sistema (servomotor), não é realizada a leitura da posição do servo-motor e, conseqüentemente, este sinal não está sendo realimentado na entrada no sistema para correções.

Este tipo de sistema de controle é adequado quando a variável controlada $y(t)$ não sofre efeitos de distúrbios ou ruídos externos. Na figura 4 tem-se um exemplo de controle em malha aberta.

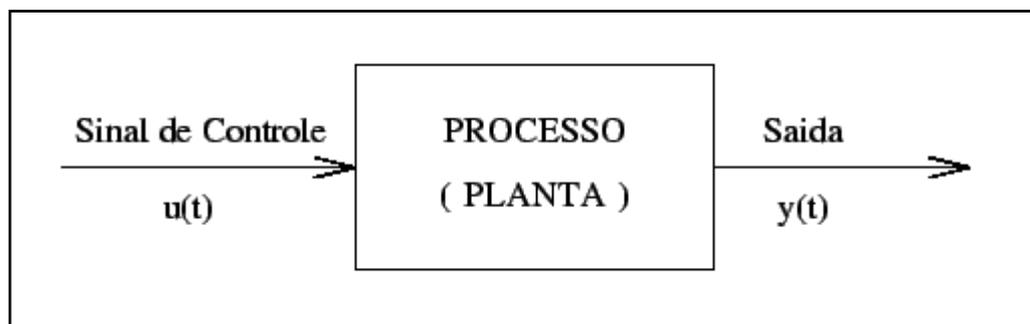


Figura 4 - Controle em malha aberta
Fonte: Brignell (1994)

2.4 Servo-motores

Castrucci (1994) define servo-motor como sendo um dispositivo eletromecânico que, a partir de um sinal elétrico em sua entrada, pode ter seu eixo posicionado em uma determinada posição angular. Por serem pequenos e compactos, além de permitir um posicionamento preciso de um eixo, os servo-motores são largamente utilizados em robótica e aeromodelismo.

Um servo-motor possui um sistema eletrônico de controle e um potenciômetro que está ligado ao eixo de saída. Este potenciômetro possibilita ao circuito de controle monitorar o ângulo do eixo do servo-motor. Se o eixo estiver no ângulo correto, o motor para. Se o circuito detecta que o ângulo está incorreto, o motor é ativado até que o ângulo seja o desejado. Nas engrenagens de um servo-motor existe um limitador que atua no ângulo de giro do eixo, fazendo com que este varie de 0 a 180 graus (LONE; PATSKO, 2005).

Segundo Lone e Patsko (2005), o ângulo do eixo é determinado a partir da duração da largura de pulso (PWM – *Pulse Width Modulation*) enviado à entrada do servo-motor. Este sinal pode ser de 0 ou 5Volts. O circuito de controle do motor monitora este sinal em intervalos de 20ms. Se dentro deste intervalo, o controlador perceber uma alteração do sinal de 0 para 5V durante 1ms até 2ms, ele altera a posição do eixo para coincidir com o sinal que recebeu. Dependendo da largura do pulso em nível lógico 1, o motor irá para a sua posição correspondente, 0 a 180 graus. A figura 5 mostra um servo-motor controlado por PWM.



Figura 5 - Servo-motor controlado por PWM
Fonte: Pyroeleetro (2012)

2.5 Sistemas Embarcados

Um sistema embarcado é aquele onde se coloca capacidade computacional dentro de um circuito integrado, equipamento ou sistema. É um sistema completo e independente, mas preparado para realizar apenas uma determinada tarefa (GUIMARÃES, 2007).

O usuário final não terá acesso ao programa que foi embutido no dispositivo, mas poderá interagir com o equipamento através de interfaces como teclado, *displays*, etc., desde que o sistema tenha sido projetado para isto (GUIMARÃES, 2007).

Diferente dos computadores, que rodam sistemas operacionais como base para que outros aplicativos diversos sejam instalados e utilizados (cada um para uma aplicação diferente), os sistemas embarcados são construídos para executar única tarefa pré-determinada. Muitas vezes não têm flexibilidade (de *software* e de *hardware*) para fazer outras tarefas quaisquer que não sejam aquelas para as quais foram desenhadas e desenvolvidas (GUIMARÃES, 2007).

Quem programa e desenvolve sistemas embarcados costuma pensar neles como entradas, saídas, processamento, memórias e ambiente onde será utilizado, como pode ser visto na figura 6. Os blocos representam diferentes componentes do sistema se comunicando com a *CPU* (Unidade de Processamento Central). Já o usuário final se preocupa apenas em como utilizar esse sistema e o que ele agrega de valor a um produto, em termos de redução de custos, aumento de funcionalidade, aumento de desempenho, etc. (GUIMARÃES, 2007).

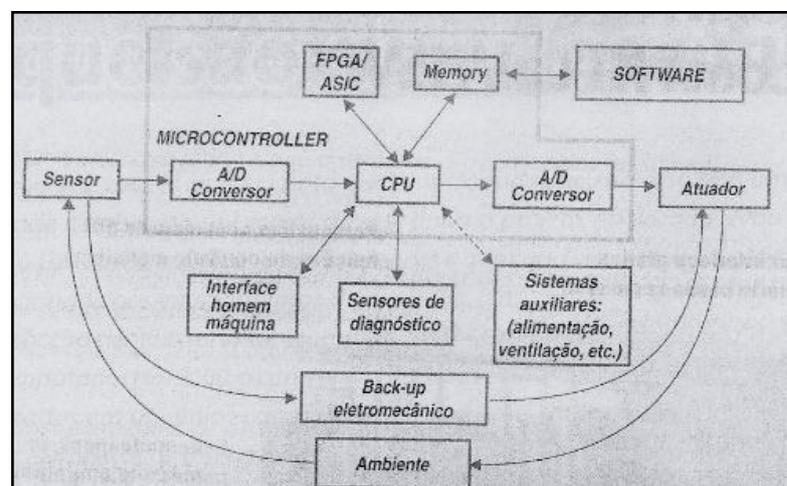


Figura 6 - Diagrama em blocos para um sistema embarcado
Fonte: Guimarães (2006)

Guimarães (2007) relata que as principais características de um sistema embarcado são a sua capacidade computacional e a sua independência de operação. Outros aspectos relevantes são referentes aos tipos de sistemas, modos de funcionamento e itens desejados em aplicações embarcadas.

Algumas aplicações para sistemas embarcados são:

- Propósito geral
- Sistemas de controle
- Processamento de sinais
- Comunicações e redes

O sistema proposto se enquadra em aplicações de sistemas de controle, que são controles em malha aberta, quando não há distúrbios ou ruídos externos atuando sobre a variável manipulada. Geralmente são as aplicações mais robustas, com placas dedicadas e múltiplos sensores de entradas e saídas. Muitas vezes fornecem pouca interação com o usuário, mostrando sinalização através de LEDs.

Os dois modos de funcionamento dos sistemas embarcados, apresentados a seguir, são determinantes para saber como programar o dispositivo e como será seu funcionamento e comportamento na aplicação para que foi desenhado (BRAGA, 2007):

- Reativo
- Controle em tempo real

Segundo Braga (2007), no controle em tempo real existem limites de tempo para executar cada tarefa (leitura de sensor, emissão de sinais para um atuador, atualização de *display*, etc.). Por isso o tempo real nem sempre é igual ao modo mais rápido de executar uma tarefa. Estes modos de operação podem ser cíclicos, não dependendo da entrada de sinais para executar as atividades, sendo capazes de tomar decisões referentes à ausência do mesmo. No protótipo, será utilizado o sistema de tempo *Soft Real Time*, onde as tarefas podem ser executadas em um intervalo de tempo específico, sem consequências graves se este limite de tempo não for cumprido. Um exemplo de *Soft Real Time* é um sistema bancário, onde

apenas uma mensagem de erro aparecerá se determinada tarefa não for realizada dentro de um tempo pré-determinado. A maior preocupação durante a programação dos dispositivos é relativa à repetição de procedimentos que podem ter seu prazo vencido e sobre as mensagens de alerta ao usuário.

As características mais desejadas em sistemas embarcados são:

- Tamanho e peso: sempre os menores possíveis. Com a crescente miniaturização dos equipamentos eletromecânicos, os itens tamanho e peso são fatores decisivos na competitividade de um produto, sem contar os custos envolvidos no envio de equipamentos grandes e pesados, já que um usuário pode adquirir um sistema embarcado em qualquer parte do mundo.
- Consumo de energia: as atuais legislações referentes ao consumo de energia preveem a necessidade cada vez maior de eficiência energética.
- Robustez do equipamento: muitos sistemas embarcados são projetados para trabalhar em ambientes com condições adversas (vibrações, calor, poeira, variações na tensão de alimentação, interferências eletromagnéticas, raios, umidade, corrosão, etc.). É necessário resistir a todas estas condições.

2.6 Sistemas “X-by-Wire”

A terminologia criada para explicar (sintetizar) o conceito da tecnologia *X-By-Wire*, onde o "X" representa as diversas formas de uso e inúmeras quantidades de aplicações do sistema "*by-wire*" (vocábulo em inglês que significa “via cabo”) e consiste em substituir um comando essencialmente mecânico para um eletromecânico através do computador. O *X-by-wire* consiste em substituir um comando essencialmente mecânico por um eletromecânico, que é repassado por um computador para executar a tarefa solicitada (BAZELA, 2009).

O uso de eletrônica substituindo os componentes mecânicos já está plenamente difundido e continua a se desenvolver pelos fabricantes de veículos dos países desenvolvidos, e no caso dos países emergentes, como é o caso do Brasil, consumidores e fabricantes passaram a apreciar essa tecnologia. Todavia alguns

requisitos precisam ser mandatoriamente atendidos pelos sistemas eletrônicos “X-*by-Wire*” automotivos (GUIMARÃES, 2006):

- Segurança: mesmo sob condições de falha o sistema deve operar sem oferecer riscos aos passageiros.
- Confiabilidade: o nível de confiança (potencial de falhas) em sistemas deste tipo deve ser, no mínimo, igual a dos sistemas convencionais mecânicos.
- Disponibilidade: a disponibilidade de peças e componentes de sistemas deste tipo deve ser, no mínimo, igual a dos sistemas convencionais mecânicos.
- Manutenção: as solicitações de manutenção (por exemplo, intervalos entre revisões) destes sistemas devem ser no, máximo, iguais às dos sistemas convencionais mecânicos.
- Tempo de vida: no mínimo igual aos sistemas atualmente utilizados.
- Empacotamento: o volume ocupado pelo sistema dentro do veículo deve ser o menor possível, sendo flexível na hora da instalação e facilitando assim a remontagem e eventual reparo posterior.
- Legislação: Deve atender a todos os requisitos legais, no Brasil cobertos pelas regulamentações descritas pelo Contran.

Segundo Guimarães (2006), os quatro elementos básicos que compõem um sistema *by-wire* são: sensores, atuadores, fonte de alimentação e protocolo de comunicação. Fazendo considerações sobre cada um dos componentes *by-wire* tem-se:

- a) Sensores: componentes com funcionamento similar ao dos potenciômetros não podem ser utilizados em sistemas *by-wire*. Potenciômetros trabalham com superfícies que se atritam entre si que, sob condições adversas de funcionamento ou em ambientes nocivos, acabam se degradando prematuramente. O ideal é utilizar sistemas indutivos, cuja medição ocorre através da captação de diferentes campos magnéticos (em direção e intensidade), sem a necessidade de contato físico entre as partes. Outra questão importante sobre os sensores é que eles devem ser sensíveis às falhas. Existem duas formas de garantir-se esta “sensibilidade”: 1) o sensor pode interpretar seu próprio sinal e detectar eventuais falhas de leitura ou 2) o

sinal pode ser enviado a uma Unidade Eletrônica de Controle, que identificará eventuais falhas do sinal lido pelo sensor.

- b) Atuadores: são utilizados na “ponta do sistema”, na atuação sobre a direção ou frenagem das rodas, por exemplo, e, eventualmente, nas peças de contato direto com o motorista, como o volante de direção, aumentando o esforço do mesmo para transmitir ao motorista a sensação de acionamento efetivo.
- c) Fonte de Alimentação: atualmente, em veículos não equipados com sistemas *by-wire*, o fato de acabar a carga da bateria ou o rompimento de uma correia dentada ou a quebra do alternador não causa grandes impactos na segurança dos ocupantes. No caso de veículos equipados com sistemas *by-wire*, a perda da alimentação causaria a interrupção do funcionamento desses sistemas. Os componentes eletrônicos dos módulos de controle como microcontroladores e memórias, também devem estar equipadas com dispositivos de detecção e tratamento de falhas. Os principais são: temporizadores *Watchdog*, lógicas EDC (*Error Detection Coding*) e BIST (*Built-in Self Test*) e monitoramento do fluxo de execução utilizando assinatura dos blocos de instrução.
- d) Protocolo de Comunicação nas Aplicações *By-Wire*:
- As funções de um sistema *by-wire* são distribuídas entre dois ou mais módulos eletrônicos de controle. Assim, um protocolo de comunicação deve ser utilizado. Conforme classificação da SAE (*Society of Automotive Engineers*) existem três classes de classificação de protocolos: Classe A – até 10 kbps, Classe B – até 125 kbps e Classe C – acima de 125 kbps. Na comunicação inerente a um sistema *by-wire*, um protocolo da Classe C deve ser utilizado. Além disso, alguns requisitos especiais devem ser observados:
- A comunicação deve ser determinística (previsível).
 - A base de tempo deve ser comum entre os módulos (para garantir o sincronismo entre eles).
 - Todos os módulos devem ser informados do *status* dos demais (função conhecida como *membership service*).
 - O protocolo deve permitir o reenvio de mensagem, evitando eventual perda de dados.

- Todos os módulos devem ter a oportunidade de enviar suas mensagens (evitando que um único módulo monopolize o barramento).
- O protocolo deve permitir a utilização de *gateways*, que integrariam barramentos relacionados às funções de segurança (*by-wire*) e as demais funções do veículo.
- O protocolo deve ser um padrão internacional, permitindo a rápida conexão de novos componentes ao sistema.

Um protocolo que atende os requisitos listados é o TTP – *Timer Triggered Protocol*, desenvolvido especialmente para aplicações relacionadas à segurança.

2.7 Giroscópios

O giroscópio é um dispositivo que permite medir a velocidade de rotação de um objeto em torno do centro de rotação ou quão rápido o objeto gira em relação a um sistema de referência inercial, o que é conhecido como velocidade angular (FORHAN, 2010).

Mecanicamente o giroscópio é formado por um corpo com simetria de rotação que gira ao redor do seu eixo de simetria (figura 7). Quando o giroscópio é submetido a um momento de força que tende a mudar a orientação do seu eixo de rotação, seu comportamento é aparentemente contrário, já que o eixo de rotação, em lugar de mudar de direção como faria um corpo que não girasse, tende a manter sua posição inicial (CORRÊA, 2007).

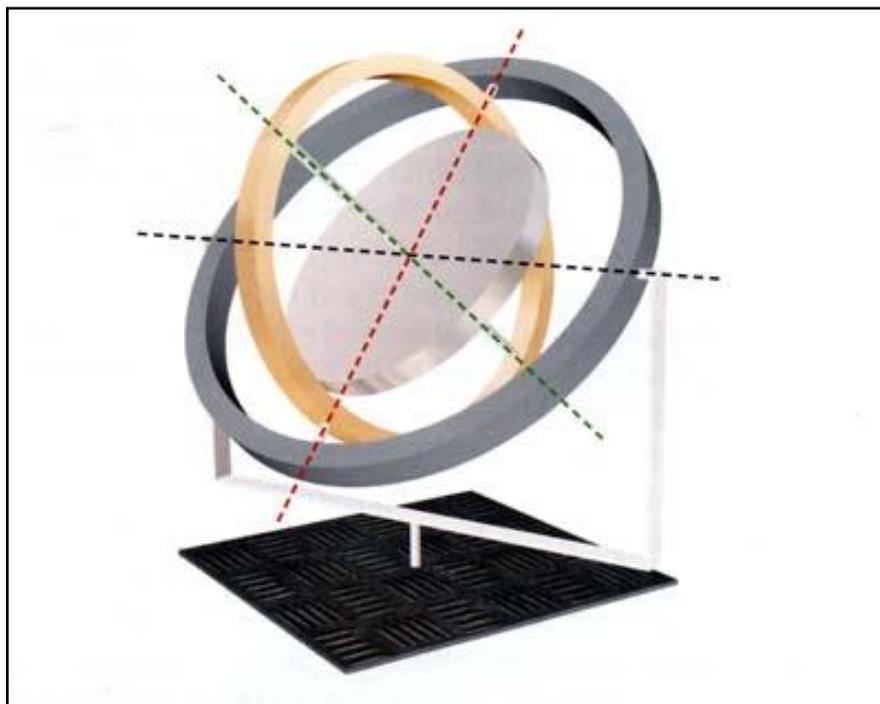


Figura 7 - Giroscópio Mecânico
Fonte: Corrêa (2007)

Dessa forma, o giroscópio serve como referência de direção, mas não de posição. Ou seja, é possível movimentar um giroscópio normalmente no espaço sem qualquer trabalho além do necessário para transportar a sua massa. A resistência surge contrária às forças que atuam de maneira a rotacionar o seu eixo de rotação a qualquer configuração não paralela à sua posição original. Assim, um veículo munido de um giroscópio e sensores apropriados pode medir com precisão qualquer mudança em sua orientação, exceto rotações que ocorram no plano de giro dos discos do giroscópio. Por esta razão, para algumas aplicações são utilizados dois giroscópios perpendiculares de modo a possibilitar a detecção de variações na orientação (CORRÊA, 2007).

A velocidade angular pode ser integrada em relação ao tempo para determinar a posição angular do objeto. Dependendo da orientação de montagem, a rotação é medida em relação a um dos três eixos principais. A montagem de um sensor em determinada orientação permitirá escolher o eixo de medida, assim uma montagem múltipla de três estruturas permite analisar as medidas nos três eixos (FORHAN, 2010).

Fedder (2003) cita que algumas das aplicações mais comuns de giroscópios incluem sistemas de navegação inercial e a estabilização de veículos aéreos, como helicópteros rádio-controlados ou veículos aéreos não tripulados. Devido à sua precisão, giroscópios também são utilizados para manter a direção na mineração de túneis.

Giroscópios construídos a partir da Técnica MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) consistem em micro dispositivos que são bem menores que os giroscópios mecânicos convencionais. Basicamente esta técnica faz a integração entre os elementos mecânicos (como sensores e atuadores) e componentes eletrônicos, em uma mesma pastilha de silício. Este tipo de combinação reduz muito o custo para construção de sistemas mais complexos. Outra vantagem é que a proximidade entre o sensor e o processamento de sinal reduz os níveis de ruído envolvidos (CUNHA, 2003).

Segundo Cunha (2003), muitas aplicações são possíveis para estes microssistemas eletromecânicos. Uma destas é a construção de giroscópios em escala integrada. Outras aplicações são os acelerômetros e os nano-robôs. Muitos fabricantes detêm a tecnologia para a fabricação de MEMS: Analog Devices, Freescale, Silicon Design, STMicroelectronics, etc.

2.8 Interface I²C

Segundo Irazabal e Blozis (2003), pode-se caracterizar a Interface I²C (*Inter-Integrated Circuit*) como sendo uma maneira simples de comunicação entre os instrumentos e circuitos integrados. A interface I²C suporta barramento multi-mestre, que significa que múltiplos *chips* podem ser conectados ao mesmo barramento e que cada um pode atuar como mestre iniciando uma transferência de dados.

Originalmente a interface I²C foi concebida para conectar um pequeno número de instrumentos em uma placa única, como por exemplo, gerenciar a sintonia de um rádio de carro ou TV. A capacitância máxima permitida foi fixada em 400 pF para permitir as transições apropriadas de tempos de subida e descida dos sinais de *clock* e de dados. Para garantir a integridade dos dados a velocidade máxima era de 100 kbps.

Em 1992 a velocidade padrão do barramento foi aumentada para 400 kbps, para se adequar às exigências de desempenho, sempre crescentes, dos novos dispositivos e circuitos integrados. Em 1998 a especificação de velocidade do barramento passou para 3,4 Mbits por segundo. Todos os dispositivos I²C ficaram sendo projetados para serem capazes de se comunicar em conjunto no mesmo barramento de dois fios e a arquitetura funcional do sistema ficando limitada apenas pela imaginação do projetista (IRAZABAL; BLOZIS, 2003).

Características do I²C (IRAZABAL; BLOZIS, 2003):

- Apenas duas linhas de barramento são necessárias: a linha serial de dados (SDA) e a linha serial de *clock* (SCL).
- Cada dispositivo conectado ao barramento tem um único endereço e estabelece uma relação simples de mestre/escravo.
- Uma interface onde o mestre pode operar como mestre-transmissor ou mestre-receptor.
- Um barramento multi-mestre incluindo funções de detecção de colisão e arbitragem para prevenir dados corrompidos se dois ou mais mestres iniciarem simultaneamente transferência de dados.
- Comunicação serial de 8 *bits*; a transferência de dados bidirecionais pode ser realizada na velocidade de até 100 kbps no modo padrão, no modo rápido em 400 kbps e em até 3,4 Mbps no modo ultrarrápido.
- Os filtros de linha rejeitam picos na linha do barramento para garantir a integridade dos dados.
- O número de dispositivos que podem ser conectados ao mesmo barramento é limitado apenas pelo valor máximo da carga de capacitância do barramento (400 pF).

2.8.1 Procedimentos de comunicação

Segundo Irazabal e Blozis (2003), um dispositivo que deseja se comunicar com o outro no barramento deve:

1. Verificar se o barramento está livre (SDA e SCL devem estar em nível lógico alto).
2. Enviar uma mensagem ao barramento indicando que o barramento estará “fechado” para sua utilização.
3. Fornecer um sinal de *clock* para a sincronização dos dispositivos. Os dados sobre o sinal de dados (SDA) devem ser validados no momento em que o sinal de *clock* (SCL) mudar o nível de tensão de "baixo" para "alto".
4. Enviar de forma serial o endereço binário único do dispositivo que ele quer se comunicar.
5. Enviar uma mensagem (um *bit*) no barramento sinalizado se ele quer enviar ou receber dados do outro dispositivo.
6. Verificar se o outro dispositivo recebeu o chamado (utilizando um *bit*) e se o mesmo está pronto para se comunicar.
7. Após receber a confirmação do outro dispositivo, os dados podem ser transferidos.
8. O dispositivo então envia ou recebe os *bits* desejados. A cada palavra de 8 *bits*, enviada ou recebida, o dispositivo espera receber um *bit* de reconhecimento, sinalizando que a transferência de dados está acontecendo de forma correta.
9. Ao término da transferência de dados, o primeiro dispositivo deve liberar o barramento. Pode-se fazer isso enviando uma instrução de término ao barramento (*bit* de *STOP*).

Dessa forma, tem-se a seguinte sequência:

1. Enviar o *bit* de “*START*”
2. Enviar o endereço do dispositivo escravo “*ADDRESS*”.
3. Enviar o *bit* de escrita (“*W*” - 0) ou leitura (“*R*” - 1).
4. Enviar *bit* de reconhecimento “*ACK*”.
5. Enviar/receber o *byte* (8 *bits*) de dados (*DATA*).
6. Esperar/Receber o *bit* de reconhecimento de transferência do dado (*ACK*).
7. Enviar o *bit* de “*STOP*”

As sequências 5 e 6 podem ser repetidas, para que os blocos *multibyte* sejam lidos ou escritos. Essa sequência pode ser visualizada na figura 8, onde são mostrados os sinais típicos para SDA e SCL (MICROCONTROLLER-PROJECTS, 2005).

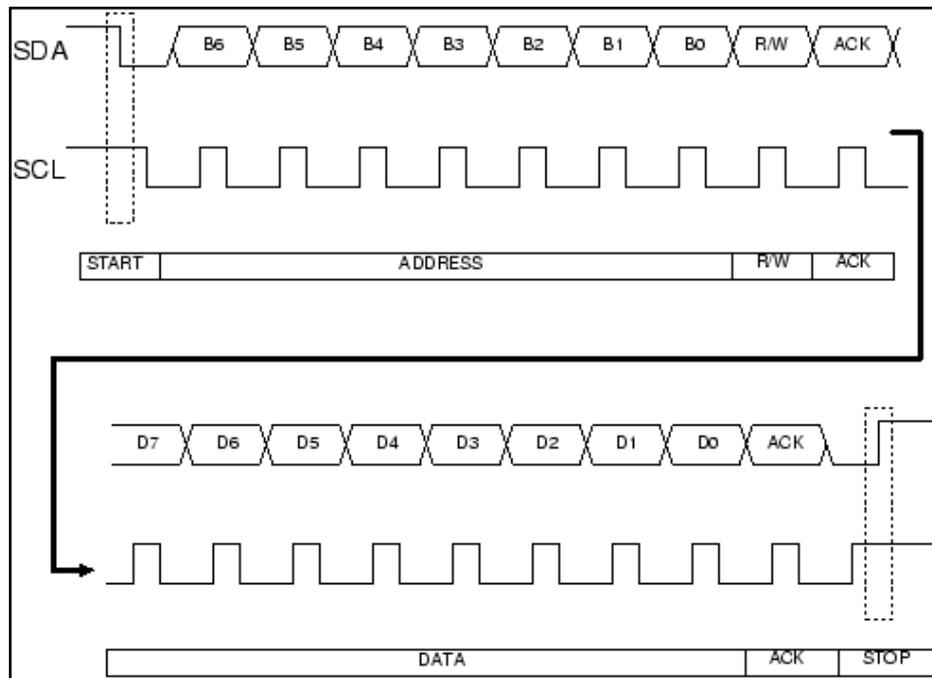


Figura 8 - Sinais típicos de SDA e SCL
Fonte: Microcontroller-Projects (2005)

Os bits de início “*START*” e término “*STOP*” de transmissão de dados podem ser gerados no barramento, mas somente por um dispositivo mestre. O recebimento de um *bit* de “*START*” por um dispositivo I²C escravo reinicia a lógica interna do barramento. Isso pode ser feito a qualquer momento; assim pode-se reiniciar o ciclo se alguma coisa errada acontecer, mesmo no meio de uma transmissão de dados entre os dispositivos.

Os bits de “*START*” e “*STOP*” são definidos por bordas de subida e descida do nível da linha de dados, enquanto a linha de *clock* permanece em nível “alto”, como mostra a figura 9.

2.8.3 Transferência de dados do dispositivo escravo para o mestre

Um processo similar acontece quando o dispositivo mestre lê dados do dispositivo escravo, mas neste caso, ao invés de enviar o *bit* de escrita “Write” envia de leitura “Read”. Após os dados serem transmitidos do escravo para o mestre, o mestre envia o bit de conhecimento ACK “*Aknowlegde*”. Se o mestre não quiser mais receber dados do dispositivo escravo ele deve enviar um bit de não reconhecimento, que significa que o escravo deve liberar o barramento. Isto possibilita o mestre enviar o sinal de “STOP” ou repetir o “START” (figura 11) (MICROCONTROLLER-PROJECTS, 2005).

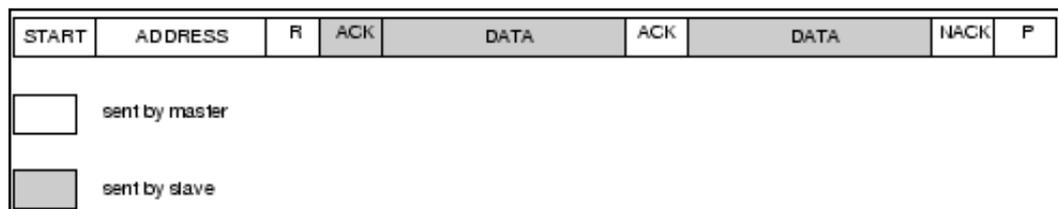


Figura 11 - Sequência de instruções do escravo para o mestre
 Fonte: Microcontroller-Projects (2005).

2.9 Placa controladora

O Arduino Duemilanove é um kit de desenvolvimento *open-source* baseado em uma placa de circuito impresso dotada de vários recursos de interfaceamento e um microcontrolador AVR (ATmega168). Contém 14 pinos de entrada/saída digitais, das quais 6 podem ser usadas como saídas *PWM* (*Pulse Width Modulation* – Modulação por Largura de Pulso), 6 entradas analógicas, cristal oscilador de 16 MHz, conexão USB e conector para alimentação. A figura 12 mostra a placa controladora com ênfase em alguns componentes (ARDUINO, 2012).

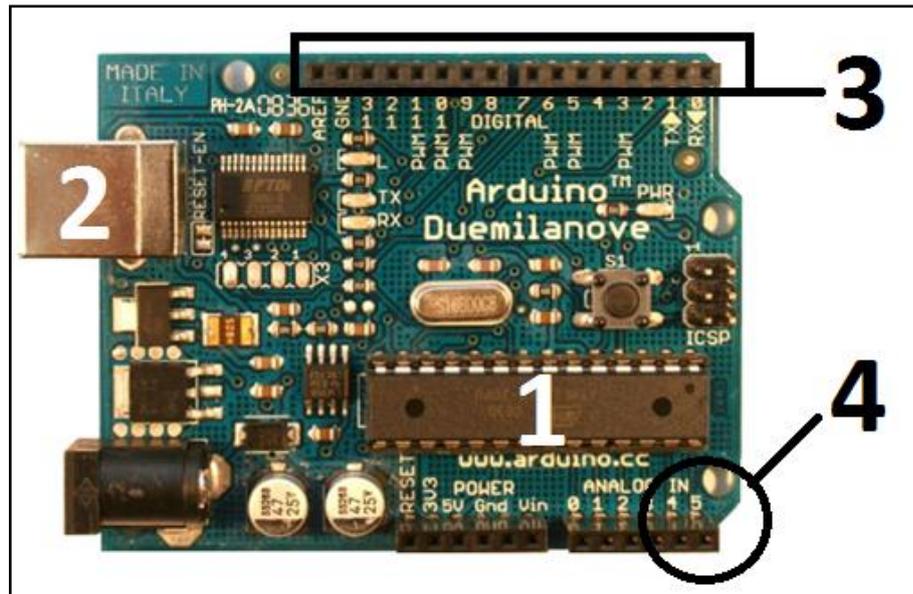


Figura 12 - Placa Arduino Duemilanove:

1) Microcontrolador ATmega168. 2) Interface USB. 3) Entradas/Saídas Digitais. 4) Pinos de comunicação I2C.

Fonte: Arduino (2012)

O quadro 2 fornece as especificações técnicas da placa microcontroladora:

Microcontrolador	ATmega168
Tensão de Operação	5V
Tensão de Entrada (Recomendada)	7-12V
Tensão de Entrada (Limite)	6-20V
Pinos de Entrada/Saídas Digitais	14 (das quais 6 são PWM)
Pinos de Entrada Analógica	6
Corrente DC máxima por pino de Entrada/Saída	40 mA
Corrente DC máxima para pino de 3.3 V	50 mA
Memória Flash	16 KB (ATmega168)
SRAM	1 KB (ATmega168)
EEPROM	512 bytes (ATmega168)
Velocidade de Clock	16 MHz

Quadro 2 - Especificações da placa

Fonte: Arduino (2012)

- Alimentação

A placa Arduino Duemilanove pode ser alimentada via conexão USB ou por uma fonte de alimentação externa. A fonte de energia é selecionada automaticamente. Quando utilizando fontes de alimentação externa, a tensão recomendada é de 7 a 12 volts (ARDUINO, 2012).

- Memória

O ATmega168 tem 32 KB de memória para armazenagem do código (dos quais 2 KB são usados pelo *bootloader*). Tem 2 KB de SRAM e 1 KB de EEPROM.

- Entradas e saídas

A placa Arduino Duemilanove possui 6 pinos analógicos, que podem ser utilizados tanto como entradas ou saídas. Utilizando a biblioteca *Wire* os pinos analógicos A4 (SDA) e A5 (SCL) podem ser utilizados para a comunicação via interface I²C (ARDUINO, 2012).

Cada um dos 14 pinos de entradas/saídas digitais do Duemilanove pode ser usado como entrada ou saída, utilizando as funções *pinMode()*, *digitalWrite()* e *digitalRead()*. Eles operam em 5V. Cada pino fornece ou recebe no máximo 40 mA. Além disso, alguns pinos têm funções especiais:

- Serial 0 (RX) e 1 (TX): utilizado para receber e transmitir dados seriais.
- PWM: os pinos 3,5,9,10 e 11 fornecem saída PWM de 8 *bits* com a função *analogWrite()*.
- SPI: os pinos 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) suportam comunicação SPI usando a biblioteca SPI.

- Comunicação

O microcontrolador ATmega168 possui facilidade de comunicação com computadores, outros Arduinos e outros microcontroladores. O canal de transferência de dados pode ser a porta USB, que utilizando o *driver* FTDI fornece uma porta virtual para o programa de desenvolvimento Arduino no computador. O programa Arduino inclui um monitor, o qual permite dados em texto serem enviado da placa Arduino e para a placa Arduino (ARDUINO, 2012).

A biblioteca *SoftwareSerial* permite comunicação serial entre todos os pinos do Duemilanove. O ATmega168 suporta também comunicação I²C, que inclui o uso da biblioteca *Wire* para simplificar sua utilização (ARDUINO, 2012).

- Programação

A linguagem utilizada para a programação da placa Arduino é uma linguagem de programação própria de código aberto que consiste basicamente em um conjunto de funções C/C++ que podem ser chamadas no código. Inclui diversas bibliotecas, classes e funções. Para utilizarmos funções específicas, para aplicações de controle de servo-motor, por exemplo, pode-se, incluir a biblioteca *SERVO* e chamar a função *servo.write ()*, podendo controlar sua posição de 0 a 180 graus (ARDUINO, 2012).

- *Automatic (Software) Reset*

A utilização do recurso de *reset* (reinicialização) é utilizada especialmente pelo programa Arduino, executando em um computador que esteja conectado com a placa, para permitir que o usuário faça o *upload* do programa apenas apertando o botão *upload* no ambiente de desenvolvimento Arduino (ARDUINO, 2012).

- USB Proteção contra sobrecorrente

O Arduino Duemilanove possui circuitos de proteção para proteger as portas USB do computador contra curto-circuitos e de sobrecorrente. Se mais de 500 mA for aplicada à porta USB, o circuito de proteção irá automaticamente interromper a conexão até que o curto-circuito ou sobrecorrente seja removida (ARDUINO, 2012).

3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo estão detalhadas todas as etapas realizadas para a execução deste projeto. Tais etapas consistem em: projetar e montar o protótipo de simulação; projetar e montar os mecanismos de acionamento do farol inteligente; monitorar o deslocamento lateral do protótipo de simulação através de sensor e a programação do microcontrolador.

3.1 Protótipo de Simulação

O protótipo de simulação é o instrumento pelo qual foram realizados todos os testes a respeito do funcionamento do farol inteligente. A forma mais real de se testar o funcionamento do sistema seria montar o farol em uma motocicleta e fazer testes práticos para ver como ele reagiria a movimentos de aceleração, força centrípeta em curvas etc. A preocupação inicial era saber como o sensor de movimento reagiria em uma condição real onde o motociclista estivesse realizando uma curva com o farol inteligente. Com a utilização do sensor de variação de taxa angular, o sistema ficou livre de interferências desse tipo, e o movimento mais significativo para fazer o sistema funcionar é apenas o de inclinação lateral da motocicleta.

O protótipo de simulação é basicamente uma motocicleta suspensa por um sistema de juntas e amortecedores, onde se podem simular movimentos de inclinação da motocicleta sem que a mesma esteja em uma rodovia.

A criação do protótipo de simulação partiu da idéia de colocar um sistema de amortecedores sob uma base de aço ligado ao quadro de uma motocicleta. A motocicleta utilizada foi a Yamaha RD 135. O motor foi retirado do quadro para diminuição do peso. Na frente da motocicleta, o farol original foi substituído pelo farol inteligente.

A idéia para a construção do sistema mecânico de movimentação do farol baseou-se em construir uma estrutura de aço para apoiar o farol diminuindo assim a força exercida no eixo dos motores. Foi utilizado um rolamento para a conexão do servo-motor com o eixo responsável pelo movimento de giro do farol. Este procedimento diminuiu o atrito entre as conexões e conseqüentemente diminuiu o

esforço do servo-motor para girar o farol. A figura 13 mostra o protótipo de simulação.



Figura 13 - Protótipo de simulação com o Sistema de Iluminação Inteligente
Fonte: Autoria própria

O sistema desenvolvido para movimentação do farol conta com dois servo-motores para correção do feixe de luz. O servo número 1 (figura 14) faz com que o farol se rotacione, mantendo sua faixa de corte de luz sempre na horizontal e paralela ao plano horizontal. O servo número 2 (figura 14) tem a função de movimentar o farol de maneira que o feixe de luz possa acompanhar a trajetória da curva.



Figura 14 - Mecânica de movimentação do farol inteligente.
Fonte: Autoria própria

O farol é constituído por uma lâmpada de xenônio de 35 W de potência e 5000K de temperatura de cor de luz (Branco Padrão). A figura 15 mostra a foto do farol utilizado no projeto.



Figura 15 - Farol utilizado no projeto
Fonte: Autoria própria

3.2 Eletrônica

Neste item estão presentes os componentes responsáveis pelo funcionamento do sistema. Fazem parte deste item os servo-motores, placa microcontroladora e sensor de medição, bem como os componentes que fazem a integração dos mesmos.

3.2.1 Funcionamento do sistema

O sensor giroscópio faz a leitura constante da taxa de variação angular do protótipo da motocicleta e integrando este valor em relação ao tempo é possível obter a posição angular da motocicleta. As informações do sensor são transmitidas ao microcontrolador Arduino através da interface I²C. O controlador recebe o sinal proveniente do sensor de movimento e, com base nisto, faz o cálculo necessário para que o foco de luz seja direcionado de acordo com o movimento da motocicleta (inclinação da motocicleta) e que o fecho de luz seja sempre paralelo ao plano horizontal. Quem realiza esses movimentos são dois servo-motores, ligados nas saídas PWM 9 e 5 do microcontrolador. O sistema de controle caracteriza-se como um sistema de controle em malha aberta, pois não há retroalimentação. Esse tipo de controle atende às necessidades do projeto, que não é uma aplicação crítica do ponto de vista de controle e não sofre com distúrbios do meio externo.

A figura 16 mostra o diagrama simplificado do ciclo de funcionamento do sistema.

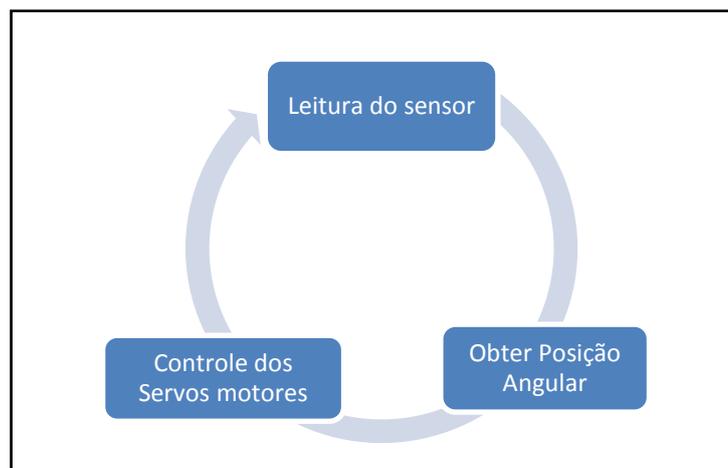


Figura 16 - Diagrama simplificado do ciclo de funcionamento
Fonte: Autoria própria

Primeiramente foi estudada a linguagem de programação utilizada no microcontrolador Arduino. Foi utilizada a placa de desenvolvimento *open-source* Arduino, pois esta oferece grande facilidade para sua programação (ambiente de desenvolvimento Arduino), preço acessível e comunicação USB com o computador. Foram analisados dois exemplos simples fornecidos pelo próprio programa, para se familiarizar com o programa e com as suas bibliotecas. O primeiro teste foi fazer a varredura contínua do eixo do servo-motor de 0 para 180° e de 180° para 0°. No segundo exemplo, foi feita a leitura do sinal analógico de um potenciômetro (0 a 5V) controlar a posição de um servo-motor. Dessa forma, quando o potenciômetro encontra-se em posição de 0 V tem-se o servo-motor na posição inicial (grau 0) e conforme aumenta-se a tensão girando o eixo do potenciômetro até a tensão máxima de 5 V, o servo acompanha de forma gradativa até atingir 180°. Com isso, foi possível utilizar a biblioteca *Servo*, facilitando assim o controle dos mesmos.

Outro passo foi estudar a interface de comunicação I²C utilizada para a comunicação entre o sensor de movimentação angular e o microcontrolador. O protocolo I²C utiliza dois pinos, um pino de *clock* serial (SCL) e um pino de *data* serial (SDA) através do qual os dados são enviados entre os dois dispositivos. Tendo o endereço do dispositivo através do qual quer se comunicar, o Arduino envia um *bit* de início e de leitura requerendo dados do instrumento que por sua vez envia os dados para o Arduino. Concluída a transmissão de dados, o Arduino finaliza a transmissão, liberando o barramento.

3.2.2 Placa do sensor de taxa de variação angular

A placa do sensor de taxa de variação angular da Sure Eletronics incorpora um giroscópio (tecnologia MEMS) XV-3500CB e um conversor analógico-digital de 18 bits com interface I²C, além de estabilizadores de tensão. Isso facilita a integração e utilização dos dispositivos e aumenta a precisão do sistema. As tabelas 1 e 2 apresentam algumas das características da placa do sensor.

Tabela 1 - Condições de operação

Item	Símbolo	Especificações			Comentários
		Min	Típica	Max	
Tensão operacional	VDD		5V ou 3,3V		GND=0V
Temperatura operacional	TOPR	-20°C		+80°C	
Corrente de saída	IANA	0		±100uA	Tensão analógica
Corrente de saída	I _{I2C}	0		±10mA	Interface I2C

Fonte: Eletronic Inventory Online (2012)

Tabela 2 - Características elétricas da placa do sensor

Item	Símbolo	Especificações			Comentários
		Min	Típica	Max	
Fator de escala	So		0.65mV/graus/s		
Fator de escala - sensibilidade à temperatura	Spt			±5%	Ta=+25°C
Precisão	Sp			±5%	Ta=+25°C
Tensão de referência	Vr		0		
Faixa de deserção	I	-100graus/s		+100graus/s	
Atraso de fase	e ₂₀		4 graus		Ângulo de atraso de 20 Hz
Frequência de resposta	BW		200 Hz		Defasado em 90 graus
Consumo de energia	I _{op}		1.9 mA		ANA0: Sem carga

Fonte: Eletronic Inventory Online (2012)

Os anexos 2 e 3 mostram o esquemático da placa, a pinagem e descrição das portas respectivamente.

Para a comunicação entre o sensor e o microcontrolador, foi utilizado um *chip* (MCP3421) disponível na placa do sensor que realiza a conversão do sinal de

analógico para digital e disponibiliza os dados para o microcontrolador via Interface I²C.

Como mostrado na figura 17, os *bits* de endereço para escrita no MCP3421 são 1101000X (para o modo padrão e rápido) após o *bit* de início ser enviado pela linha de dados (*SDL*). O dados da conversão A/D podem ser lidos (enquanto o MCP3421 está em sua configuração padrão), se "X" representar 1. Se "X" representar 0, significa que o microcontrolador estaria escrevendo *bytes* de configuração no MCP3421. O *byte* de endereço também pode ser 00001YYY (modo de alta velocidade). Os *bits* de YYY são exclusivos para o modo principal de alta velocidade (HS - *High-Speed Master Mode*).

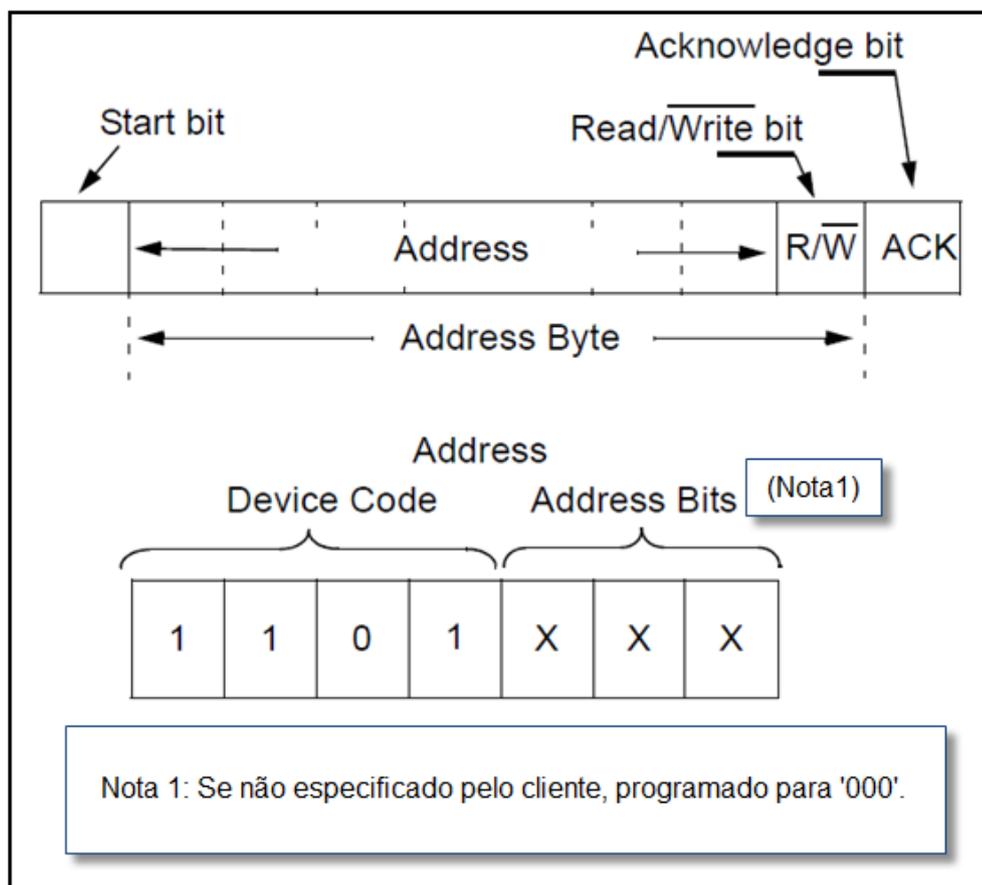


Figura 17 - Endereço do dispositivo I²C
Fonte: Eletronic Inventory Online (2012)

Conecta-se os pinos SDA (*data*) e SCL (*clock*) do sensor de taxa de variação angular nos pinos A4 e A5 da placa Arduino respectivamente. Esses pinos são os

que suportam a comunicação I²C, utilizando a biblioteca *Wire* do Arduino. Para o controle do servo-motor, utiliza-se as saídas 5 e 9 do microcontrolador.

A figura 18 mostra a placa Arduino com a placa do sensor de taxa de variação angular. A placa Arduino e o sensor são alimentados via entrada USB da placa Arduino. O conversor USB fornece tensão de 3,3V e corrente de 500 mA. Foi confeccionada uma placa para fixar e conectar o sensor à placa Arduino. Ambos foram inseridos em uma caixa de proteção. A figura 19 mostra a caixa de proteção com os circuitos dentro e o conversor USB.

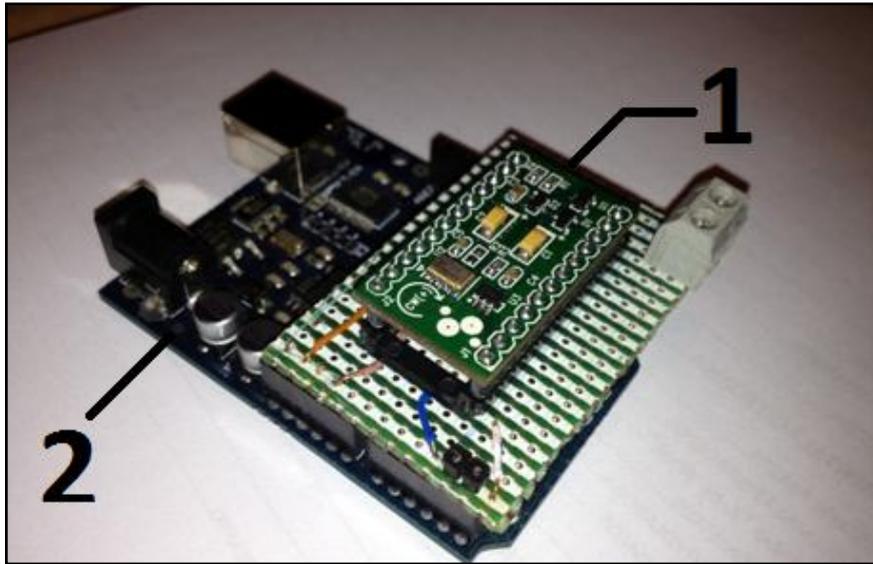


Figura 18 - 1) Placa do sensor 2) Placa Arduino.
Fonte: Autoria própria

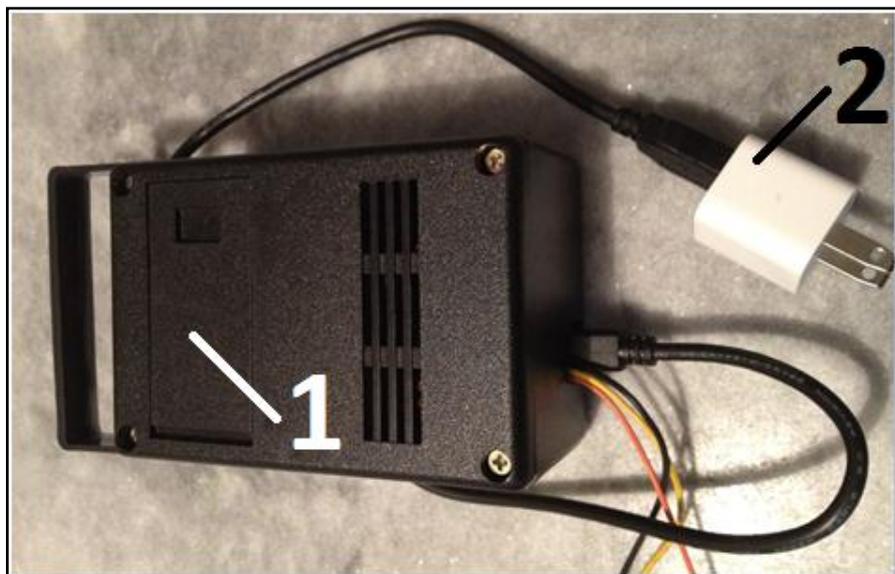


Figura 19 - 1) Caixa de Proteção das placas. 2) Conversor CA / USB.

Fonte: Autoria própria

Além do cabo de alimentação da placa Arduino, mais três fios saem da caixa dos circuitos. O fio amarelo e laranja são os fios de sinais de controle para controlar os servo-motores de rotação e deslocamento horizontal do farol, respectivamente. O fio preto é o polo negativo, e precisa ser conectado ao polo negativo da fonte de alimentação externa dos motores.

3.3 Obtendo a posição Angular

Como o sensor mede apenas a variação angular em um determinado instante de tempo, não é possível um controle de posição angular. Todavia, sabe-se que é possível estimar a distância viajada conhecendo a velocidade e o tempo da viagem, e isso se aplica tanto para caminhos lineares quanto angulares. Se a velocidade é constante, pode-se obter a distância viajada multiplicando-a pelo tempo gasto na viagem (VANZATI, 2011).

O que se deseja é medir a posição angular em tempo real, seja a velocidade de rotação constante ou não. Para obter este resultado, pode-se utilizar a mesma técnica descrita acima, calculando a distância percorrida em um curto espaço de tempo, onde para cada instante de tempo, assume-se que a velocidade permanece constante (VANZATI, 2011).

A área no gráfico da figura 20 representa a distância percorrida. Quanto menor o tempo de amostragem, mais precisa será a medida.

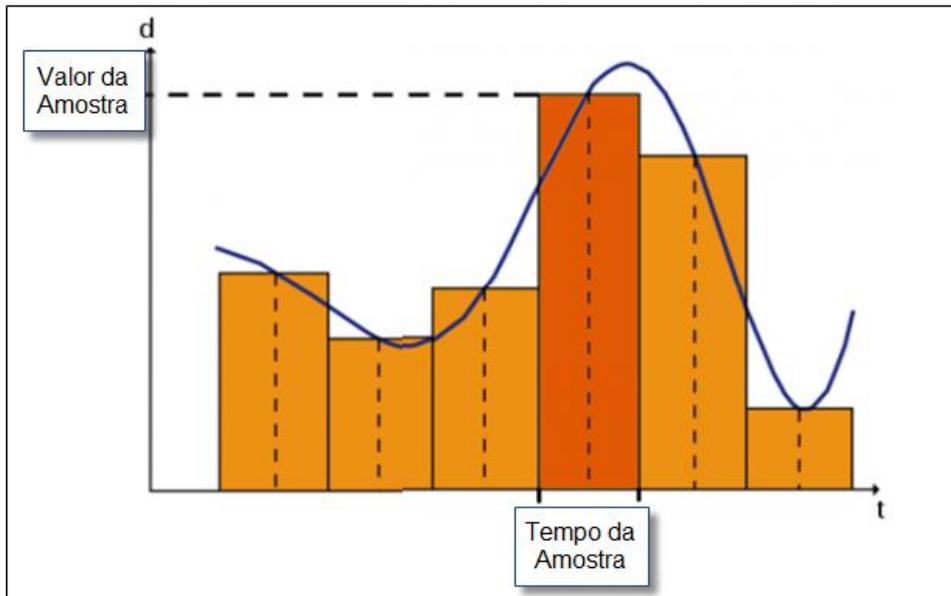


Figura 20 - Regra do Retângulo

Fonte: Vanzati (2011)

Este processo também é chamado de Regra do Retângulo, que tem a vantagem de ser mais simples requerendo apenas um cálculo por instante de amostra, sendo menos preciso. Por outro lado, conhecendo a velocidade inicial e final da amostra de tempo que se deseja calcular, pode-se aplicar outra regra, a Regra dos Trapézios (figura 21), que apresenta resultados mais próximos do real e é também o jeito mais fácil de resolver uma integral definida (VANZATI, 2011).

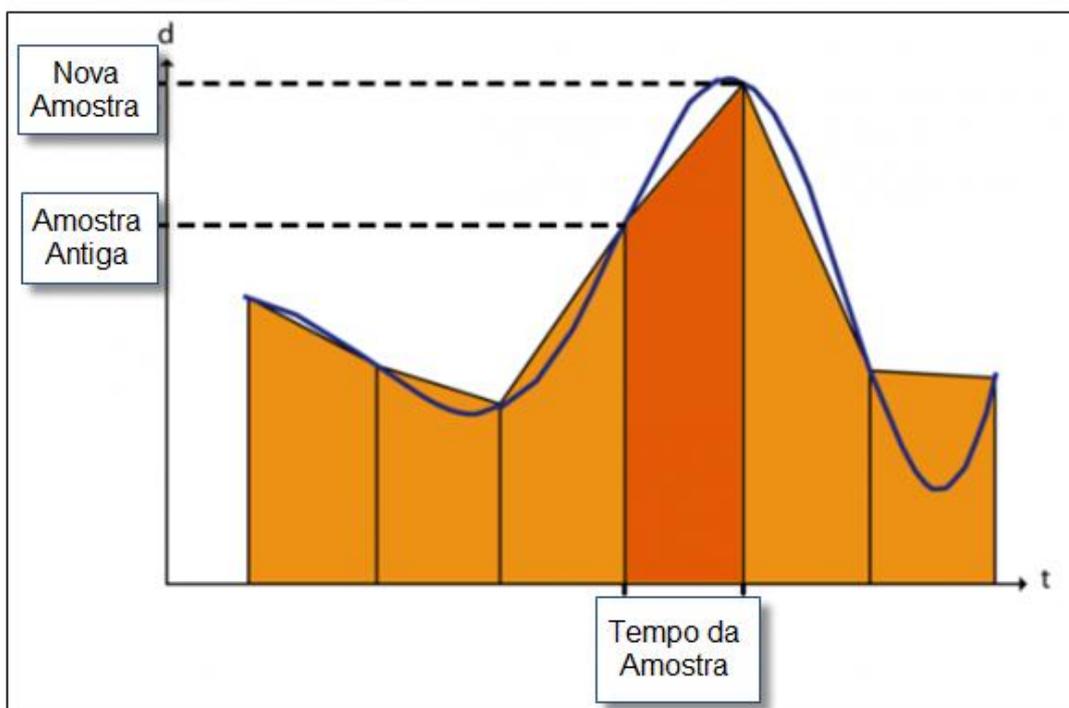


Figura 21 - Regra dos trapézios
Fonte: Vanzati (2011)

A equação 1 é utilizada para calcular a área trapezoidal:

$$\text{Distância} = (\text{Amostra antiga} + \text{Nova amostra} / 2) * \text{Tempo da amostra} \quad (1)$$

O giroscópio pode fornecer uma leitura precisa do ângulo varrido, mas é uma medida relativa já que ele só reage a alterações de velocidade e não se pode dizer em que posição está quando está parado. Por esta razão, para medir a posição angular absoluta, deve-se fornecer a posição de referência inicial e, em seguida, para cada período adiciona-se ou subtrai-se a variação individual gravada. Convencionalmente, parti-se de 0° .

Pode-se aplicar essa regra no Arduino fazendo com que código se repita em certo período de tempo. Em cada período será aplicada a Regra dos Trapézios, utilizando os valores de velocidade da medida atual em relação aos valores de velocidade da medida do ciclo anterior (VANZATI, 2011).

3.4 Servo-motores

Os servo-motores são os responsáveis por posicionar o farol fazendo que o fecho de luz ilumine sempre paralelamente ao plano horizontal bem como o deslocamento lateral acompanhe a curva. Para isso o controlador recebe o sinal proveniente do sensor de movimento e, com base nisto, faz o cálculo necessário para que o foco de luz seja direcionado de acordo com o movimento da motocicleta (inclinação da motocicleta). A programação utilizando o programa Arduino facilita bastante o controle de servo-motores uma vez que possui funções específicas para tais fins.

Os servo-motores utilizados são controlados por *PWM (Pulse Width Modulation)*. Possuem três fios: positivo, terra e o sinal de controle. O cabo de alimentação, cor vermelha, deve ser ligado à fonte de alimentação externa. O fio terra, preto ou marrom, deve ser conectado a um pino terra na placa Arduino e também na fonte externa. O pino de sinal, amarelo ou laranja, deve ser ligado a um pino digital na placa Arduino. Como os servos demandam alta corrente, pelo alto torque que possuem, para garantir que não haja interferência no microcontrolador ou no sensor, foram ligados em uma fonte de alimentação separada (ou seja, não utilizando o pino 5 V na placa Arduino). A figura 22 mostra o modelo de servo-motor utilizado no projeto.



Figura 22 - Servo-motor
Fonte: Lone e Patsko (2005)

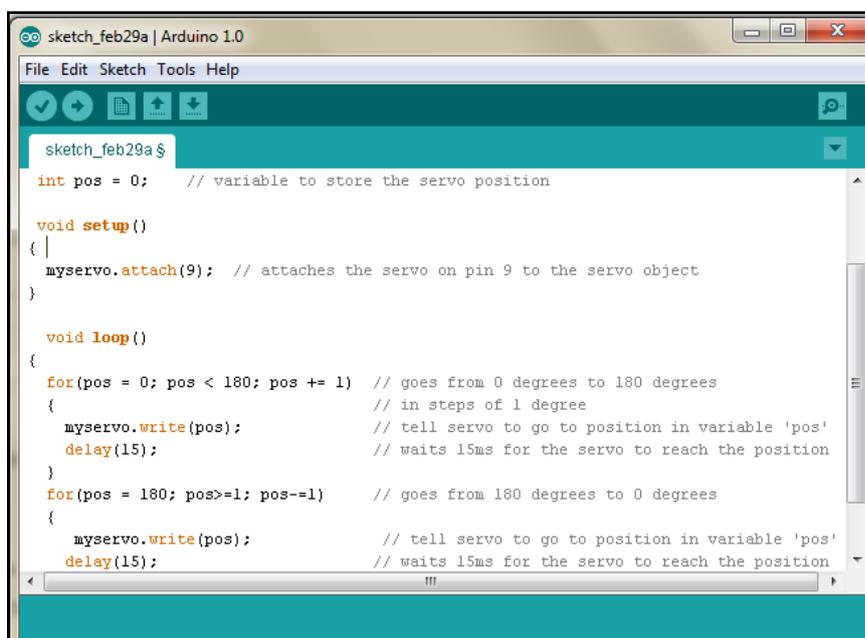
O quadro 3 fornece suas características elétricas.

Modelo:	hexTronik - HX12K
Taxa de torque:	10Kg/cm
Velocidade:	16sec/60graus
Tensão de trabalho:	5-7 v
Tipo:	Digital
Engrenagens:	Metal
Peso:	55g
Dimensões:	40,7 x 19,7 x 42,9 mm

Quadro 3 - Especificações do Servo-Motor
Fonte: Lone e Patsko (2005)

3.5 Programação

O ambiente de desenvolvimento Arduino contém um editor de texto para escrever o código, uma área de mensagem, um console de texto, uma barra de ferramentas com botões para funções comuns, e seus menus. A figura 23 nos mostra o programa para programação do Arduino.



```

sketch_feb29a | Arduino 1.0
File Edit Sketch Tools Help
sketch_feb29a $
int pos = 0; // variable to store the servo position

void setup()
{
  myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
}

void loop()
{
  for(pos = 0; pos < 180; pos += 1) // goes from 0 degrees to 180 degrees
  { // in steps of 1 degree
    myservo.write(pos); // tell servo to go to position in variable 'pos'
    delay(15); // waits 15ms for the servo to reach the position
  }
  for(pos = 180; pos >= 1; pos -= 1) // goes from 180 degrees to 0 degrees
  {
    myservo.write(pos); // tell servo to go to position in variable 'pos'
    delay(15); // waits 15ms for the servo to reach the position
  }
}

```

Figura 23 - Ambiente de desenvolvimento Arduino
Fonte: Autoria própria

A variável *data* recebe os valores do sensor de taxa de variação angular. O valor da variável *data*, quando o sensor está parado, é igual a 16645 (valor da saída

digital do sensor quando em estado estacionário). Foi observado que em dias de temperaturas baixas, este valor oscila por certo período de tempo (cerca de 5 minutos) até conseguir estabilizar seu valor em 16645 (constante de referência do sensor). A importância de o sensor manter este valor, é que ele é utilizado para poder calcular a posição da motocicleta, e este valor oscilando, corresponderia na prática à motocicleta sofrer pequenas inclinações de um lado para o outro. A figura 24 mostra uma ferramenta do programa Arduino onde é possível ler os valores das variáveis utilizadas no programa. Esta ferramenta facilitou bastante os testes, pois com ela conseguimos fazer a leitura das variáveis como ângulo medido (*angle*), variável de dados do sensor (*data*) e a variável responsável pelo incremento do ângulo (*w*).

```

COM4
angle: 90.00 time1: 60740 time2: 48416 data: 16645 w 0.00
angle: 90.00 time1: 7536 time2: 60740 data: 16645 w 0.00
angle: 90.00 time1: 18828 time2: 7536 data: 16645 w 0.00
angle: 90.00 time1: 30104 time2: 18828 data: 16645 w 0.00
angle: 90.00 time1: 42428 time2: 30104 data: 16645 w 0.00
angle: 90.00 time1: 54752 time2: 42428 data: 16645 w 0.00
angle: 90.00 time1: 1576 time2: 54752 data: 16645 w 0.00
angle: 90.00 time1: 12904 time2: 1576 data: 16645 w 0.00
angle: 90.01 time1: 24192 time2: 12904 data: 16901 w 1.00
angle: 90.21 time1: 36548 time2: 24192 data: 19461 w 16.00
angle: 90.21 time1: 49948 time2: 36548 data: 16645 w 0.00
angle: 90.21 time1: 62264 time2: 49948 data: 16645 w 0.00
angle: 90.21 time1: 9060 time2: 62264 data: 16645 w 0.00
angle: 90.37 time1: 20348 time2: 9060 data: 19205 w 14.00
angle: 90.57 time1: 32724 time2: 20348 data: 19461 w 16.00
angle: 90.67 time1: 46172 time2: 32724 data: 18181 w 8.00
angle: 90.72 time1: 58572 time2: 46172 data: 17413 w 4.00
angle: 90.90 time1: 5400 time2: 58572 data: 19205 w 14.00
angle: 91.12 time1: 17764 time2: 5400 data: 19973 w 18.00
angle: 91.32 time1: 30116 time2: 17764 data: 19461 w 16.00
angle: 91.53 time1: 43516 time2: 30116 data: 19461 w 16.00
angle: 91.80 time1: 56920 time2: 43516 data: 20229 w 20.00
angle: 92.04 time1: 4784 time2: 56920 data: 19973 w 18.00
angle: 92.26 time1: 17140 time2: 4784 data: 19973 w 18.00
angle: 92.58 time1: 29504 time2: 17140 data: 21253 w 26.00
angle: 92.80 time1: 42900 time2: 29504 data: 19461 w 16.00
angle: 93.04 time1: 56316 time2: 42900 data: 19973 w 18.
Autoscroll Newline 9600 baud

```

Figura 24 - Leitura das variáveis em ambiente Arduino

Fonte: Autoria própria

Foi utilizada outra variável (*gyro_const*) para armazenar o valor da constante de referência do sensor. A variável *w* faz a subtração do valor corrente da variável *data*, que contém os dados do sensor, com a variável *gyro_const* de valor igual a

16645. Dessa forma, quando o sensor está parado, tem-se o resultado nulo para esta subtração.

$$w = (data - gyro_const) / 176 \quad (2)$$

Para obter-se o posicionamento angular do protótipo, a partir do valor lido do sensor de taxa de variação angular, foi necessário integrar esse valor em relação ao tempo. Para isso, foi utilizada a função *micros()* da biblioteca Arduino. Essa função retorna o número de microssegundos desde que a placa Arduino começou a executar o programa principal “*loop()*”. Se não houver um novo ciclo, este número volta para zero, após cerca de 70 minutos. Em placas Arduino de 16MHz (por exemplo, *Duemilanove* e *Nano*), esta função tem uma resolução de quatro microssegundos (ou seja, o valor retornado é sempre um múltiplo de quatro). Com isso, os valores de *micros()* foram armazenados na variável *time1*. A variável *time2* recebe o valor da variável *time1* antes que o ciclo seja reiniciado e que esta por sua vez receba novamente o valor de *micros()* do novo ciclo. Então, o tempo utilizado para se integrar a taxa de variação angular é dada por *time1 – time2*. A variável *angle*, que controla o posicionamento dos servo-motores é produto desta integral (ARDUINO, 2012).

Um problema percebido foi a ocorrência de erros de medição. Tais erros ocorrem quando o movimento de inclinação da motocicleta é realizado da posição inicial para outra posição angular. Por exemplo, a motocicleta inicialmente na posição 90° foi inclinada 20 graus para a direita, e retornou para a posição inicial acusando um erro de 0.32°. Por menor que seja este erro, esse valor interfere na medição da posição da motocicleta, refletindo um valor incorreto.

Para garantir que este problema não afete o sistema, foi criada uma função chamada “*calibration()*” que a cada intervalo de tempo faz a verificação da variável *angle*, e se esta estiver dentro de um valor de 89 a 91, faz com que ela receba o valor de 90. Esta medida também soluciona o problema de estabilização do valor da constante do sensor.

Para movimentar o motor foi utilizada a função *servo.write()*, da biblioteca *Servo* do programa Arduino, que grava um valor para o servo, controlando o eixo de acordo com o valor (0 a 180). Em um servo padrão, isto irá definir o ângulo do eixo (em graus), movendo-se o eixo para aquela orientação (de 0 a 180 graus).

4 TESTES E RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados testes e resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho, que se divide em quatro partes:

1. Apresentação dos resultados desejados;
2. Apresentação das condições de medição e do ambiente de teste;
3. Apresentação dos requisitos de iluminação para faróis de descarga de gás;
4. Apresentação dos testes e resultados obtidos.

Os testes realizados destinam-se a ilustrar o comportamento do Sistema de Iluminação Inteligente em diferentes situações de inclinação da motocicleta. Para simular tais movimentos utiliza-se o protótipo de simulação mostrado na figura 13, da página 37.

4.1 Resultados desejados

1. Para a inclinação da motocicleta de 30 graus à direita, tem-se um ajuste na direção do farol de 15 graus à direita. Quando não houver inclinação da motocicleta, a posição do farol deve ser zero, iluminando paralelamente à direção do protótipo, como mostrado na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados desejáveis para o sistema

Ângulo de inclinação do protótipo em graus	Ângulo do foco de luz em graus
-30 (Curva acentuada a esquerda)	-15 (Esquerda)
-15 (Curva à esquerda)	-8 (Esquerda)
0 (Simulando movimento retilíneo)	0
15 (Curva à direita)	8 (Direita)
30 (Curva acentuada a direita)	15(Direita)

Fonte: Autoria própria

Esses valores foram tirados com base em sistemas automotivos de veículos comerciais em circulação, como no caso do Citroën C4 (FRANCO, 2012).

2. A linha de corte do fecho do farol deve sempre estar alinhada paralelamente com o plano horizontal.

A figura 25 representa o processo de medição do fecho do farol, onde as medições são feitas a partir do fecho de luz projetado contra uma parede ou tela de medição, com base em normas relativas à resolução 277 do Contran - Faróis principais equipados com fonte de luz de descarga de gás (DETRAN, 2012).

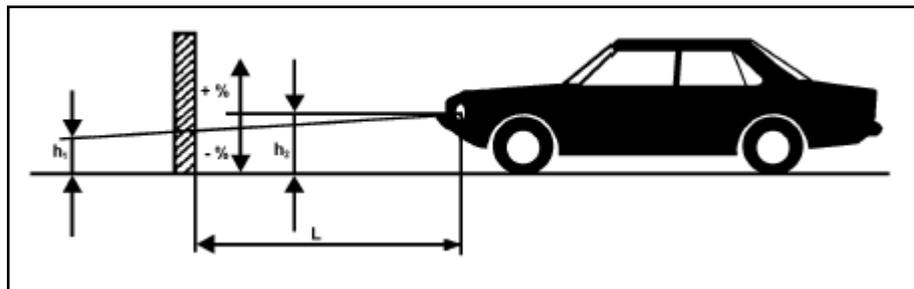


Figura 25 - Processo de medição do fecho do farol
Fonte: Detran (2012)

Este desenho da figura 25 representa um veículo categoria M1 (veículo automotor destinado ao transporte de passageiros, com capacidade para até oito pessoas, exclusive o condutor), mas o princípio mostrado aplica-se igualmente para veículos das outras categorias.

Se o veículo não estiver equipado com um sistema de regulagem da inclinação do fecho do farol de luz baixa, a variação da inclinação do fecho do farol de luz baixa é idêntica à variação da inclinação do próprio veículo.

4.2 Condições de medição

Para a verificação visual do fecho do farol de luz baixa na tela, ou mediante uso de um método fotométrico, a medição deverá ser conduzida em um ambiente escuro (por ex.: uma sala escura) de espaço suficiente para permitir que o veículo e a tela sejam dispostos conforme mostrado na figura 25. Os centros de referência dos faróis deverão estar a uma distância da tela de pelo menos 10m (DETRAN, 2012).

A superfície sobre a qual as medidas são feitas deve ser tão plana e horizontal quanto possível, de maneira que a repetibilidade das medições da inclinação do fecho do farol de luz baixa possam ser asseguradas.

Se uma tela é utilizada, sua marcação, posição e orientação em relação ao solo e ao plano longitudinal mediano do veículo deve ser de tal forma a garantir a repetibilidade das medições da inclinação do fecho do farol de luz baixa.

Para os testes e medição dos ângulos do fecho de luz produzido pelo farol quando no momento de inclinação da motocicleta, com o sistema desligado (ver apêndice 2), foi utilizado um quadro com a marcação dos ângulos de 15 e 30 graus, como mostrado na figura 26.



Figura 26 - Quadro para marcação dos ângulos
Fonte: Autoria própria

Durante as medições, a temperatura ambiente deverá estar entre 10°C e 30°C (DETRAN, 2012).

Em caso de falha, a iluminação abaixo da linha H-H (figura 29 da página 56), não deve exceder os valores do fecho de luz baixa. Além disso, nos faróis de fecho alto e fecho baixo desenvolvidos para equiparem faróis direcionais, a iluminação deve ser suficiente no do ponto 25 V (Linha VV, D 75 cm) (figura 29 da página 56).

O fecho de luz baixa ou o fecho de luz alta, quaisquer deles, deve sempre ser

obtido sem qualquer possibilidade do mecanismo permanecer/travar entre as duas posições.

4.3 Requisitos de Iluminação

4.3.1 *Requisitos gerais*

Os faróis devem ser construídos de maneira que, com uma fonte de luz de descarga de gás apropriada, forneçam iluminação adequada, sem causar ofuscamento quando estiverem emitindo o fecho de luz baixa, e boa iluminação quando emitem o fecho de luz alta.

A iluminação produzida pelo farol deve ser determinada através de uma tela vertical localizada 10 metros à frente do farol e em ângulo reto em relação aos seus eixos, ou através de qualquer método fotométrico equivalente.

4.3.2 *Requisitos relativos aos fechos de luz baixa*

Os fechos de luz baixa devem produzir um “corte” suficientemente definido para permitir uma regulagem satisfatória com seu auxílio. O “corte” deve ser uma linha reta horizontal no lado esquerdo e não deve estender-se além da linha HV/H3/H4 da figura 29 da página 56. Um “corte” estendendo-se acima de uma combinação destas linhas não deve ser permitido, em nenhuma circunstância.

Para facilitar o alinhamento através do “corte”, o farol pode ser parcialmente ocultado de maneira a tornar o “corte” agudo, como mostrado na figura 27.



Figura 27 - Fecho de luz baixa parcialmente ocultada
Fonte: Autoria própria

A luz emitida pelo fecho baixo, se projetada contra uma parede, concentra seu foco entre a linha horizontal formada pelos faróis e o solo. Esta linha denomina-se “linha de corte”, usada justamente para se definir um limite para não causar o ofuscamento. Este problema para o fecho de luz alta não é considerado, pois, é de bom senso que o condutor só fará uso do mesmo quando não existirem outros veículos a sua frente.

4.4 Resultados finais

Para avaliação dos procedimentos descritos anteriormente obteve-se os seguintes resultados.

4.4.1 *Teste 1: Inclinação de 0 (zero) grau – Sistema de Iluminação Inteligente ligado*

O primeiro teste foi realizado a uma inclinação da motocicleta de 0 grau em relação ao plano vertical (simulando um movimento retilíneo), como mostrado na figura 28. O sistema comportou-se de forma estável, não havendo variações ao longo do tempo tanto no ângulo de rotação do farol quanto no ângulo direcional horizontal.



Figura 28 - Teste 1 – Inclinação de 0 grau com o sistema ligado
Fonte: Autoria própria

Além disso, o sistema apresentou resultados satisfatórios com um fecho de luz condizente com o fecho de luz mostrado na figura 29, que representa os resultados desejados para um farol para tráfego na mão direita, segundo as normas e especificações do Contran – Faróis principais equipados com fonte de luz de descarga de gás, 2012 (DETRAN, 2012).

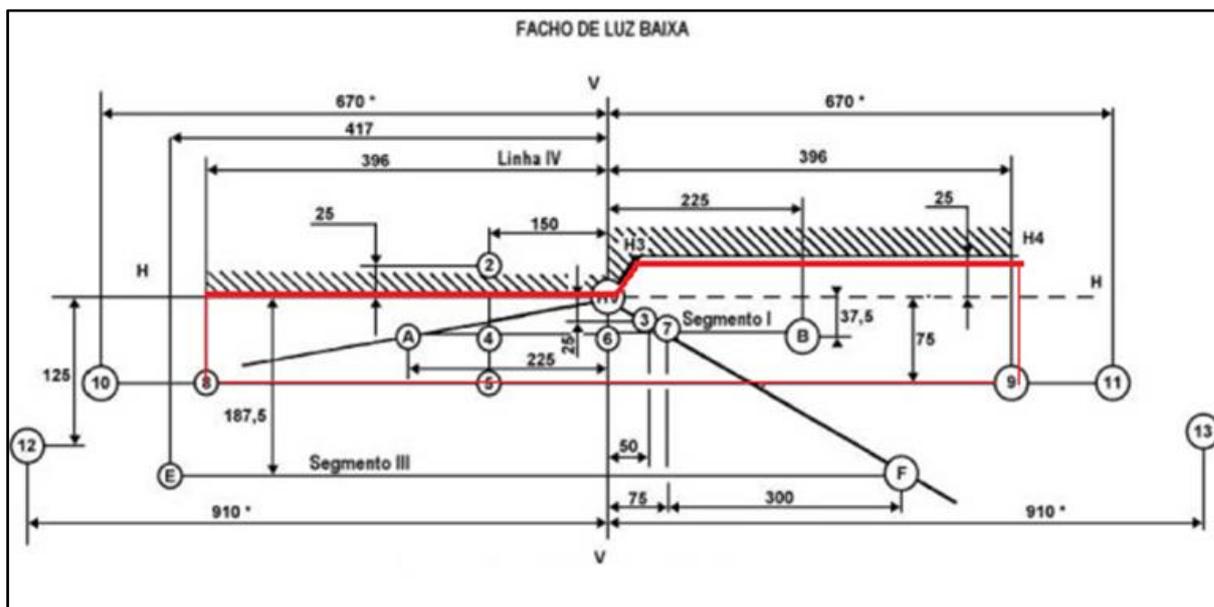


Figura 29 - Farol para Tráfego na Mão Direita
Fonte: Detran (2012)

4.4.2 Teste 2: Inclinação de 30 graus – Sistema de Iluminação Inteligente desligado

A figura 30 apresenta os resultados para o segundo teste realizado. Neste teste, a motocicleta foi inclinada para direita a 30 graus em relação ao plano vertical com o Sistema de Iluminação Inteligente desligado. Esta configuração, representaria o motociclista em uma curva acentuada. Pode-se observar que, dessa forma, não havendo a rotação do farol, o fecho de luz é totalmente irregular, apresentando o “corte de luz” com a mesma inclinação da motocicleta. Assim, além de apresentar risco ao condutor da motocicleta, tendo em vista que sua visão é comprometida pela baixa condição de luminosidade, é também prejudicial aos motoristas que trafegam em sentido contrário, pois o fecho de luz mal regulado causa o ofuscamento de visão.



Figura 30 - Teste 2 - Inclinação de 30 graus para direita com o sistema desligado
Fonte: Autoria própria

4.4.3 Teste 3: Inclinação de 30 graus – Sistema de Iluminação Inteligente ligado

A figura 31 apresenta os resultados do terceiro teste. Neste teste a motocicleta apresenta a mesma inclinação do teste anterior, 30 graus de inclinação para direita, representando o motociclista em uma curva acentuada, só que desta vez com o Sistema de Iluminação inteligente ligado. Nessa configuração percebe-se os expressivos resultados do fecho de luz em relação ao resultado anterior. Pode-se perceber que a inclinação da linha de “corte de luz” foi corrigida pelo sistema, que rotacionou o farol com o mesmo valor do ângulo de inclinação da motocicleta, fazendo a compensação e proporcionando um fecho de luz paralelo ao plano horizontal. Da mesma forma, o sistema atuou na compensação e deslocamento horizontal do farol para o mesmo sentido de inclinação da motocicleta, para melhor

iluminar a curva, e não causar ofuscamento dos veículos que trafegam em sentido contrário.



Figura 31 - Teste 3 - Inclinação de 30 graus para direita com o sistema ligado
Fonte: Autoria própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este projeto foi possível adquirir novos conhecimentos sobre funcionamento e aplicação de sensores de movimentação angular (giroscópios), engenharia e desenvolvimento de protótipo de simulação, bem como ambientes de simulação e testes. Foi possível também aprimorar alguns conhecimentos vistos no curso, como programação, eletrônica básica e controle de servo-motores. Na parte mecânica colocou-se em prática e adquiriu-se novos conhecimentos em desenhos e projetos mecânicos, além de aprimorar os conhecimentos em técnicas de fabricação.

O objetivo geral deste projeto foi alcançado, visto que o sistema de iluminação inteligente acompanhou os movimentos executados pelo protótipo de simulação, mantendo o fecho de luz sempre paralelo ao plano horizontal e deslocando-se para acompanhar os movimentos do protótipo de simulação. Este por sua vez conseguiu simular os movimentos que um motociclista executaria nos movimentos de curvas, simulando um evento real.

Um desafio para a equipe foi entender o funcionamento dos sensores de taxa de variação angular e como esse tipo de sensor poderia ser utilizado para fornecer a posição angular da motocicleta, pois tanto o seu funcionamento como a tecnologia utilizada para a comunicação entre o microcontrolador como a placa do sensor era desconhecida pelos membros da equipe. Como este é um assunto específico, foi encontrado bastante material de estudo na Internet (*sites* dos fabricantes) e nas revistas especializadas.

De forma a agregar mais valor ao sistema de iluminação inteligente, garantindo mais qualidade ao produto, foi incluído mais um servo-motor, que não estava previsto na proposta inicial, para rotacionar o farol e garantir um fecho de luz (“corte” do farol) sempre paralelo ao plano horizontal, seja com a motocicleta em posição perpendicular ao asfalto ou não. Com essa nova função, foi necessário redesenhar o mecanismo de movimentação do farol. Foi necessária a inclusão de um rolamento para apoiar o mecanismo, livrando o peso do eixo do servo-motor, para que o mesmo fosse capaz de rotacionar o farol com mais facilidade.

Outra dificuldade apresentada no projeto foi a movimentação lateral do protótipo com quatro amortecedores. Com quatro amortecedores, era necessário

grande esforço para movimentar a motocicleta lateralmente. Desta forma, para se obter movimentos laterais mais suaves do protótipo de simulação, foram utilizados apenas dois amortecedores.

Pode-se concluir, então, que a utilização deste Sistema de Iluminação Inteligente vem auxiliar na segurança dos motociclistas, pois corrige os ângulos do fecho de luz do farol da motocicleta deixando-os sempre paralelos ao plano horizontal e também direciona o farol para iluminar a parte de dentro das curvas. Com isso melhora-se a visualização das curvas e dos obstáculos e não se ofusca os veículos que trafegam na pista contrária. Outro ponto positivo deste sistema é que ele pode ser instalado em toda motocicleta que não possua carenagem frontal, apenas fazendo a substituição do farol original pelo Sistema de Iluminação Inteligente.

Para a transformação do protótipo do Sistema de Iluminação Inteligente em um produto seria necessário melhorar a vedação da caixa de proteção do microcontrolador e da placa do sensor de variação angular para impedir a entrada de água e poeira. Outro ponto a considerar seria reprojeter o farol e os acoplamentos com os motores visando a diminuição das medidas e de peso, sendo assim possível a utilização de motores de menor consumo de corrente, tendo em vista que a capacidade de carga das baterias das motocicletas geralmente é baixa, variando de 5 a 12 A/h.

A seguir são sugeridas algumas melhorias para este projeto:

1. Integrar ao sistema um medidor de velocidade e um mecanismo para controlar o fecho de luz de forma a variar seu ângulo vertical conforme as variações de velocidade, iluminando maiores distâncias em velocidades mais altas.
2. Mecanismo que compense o ângulo vertical do farol quando a motocicleta passar por lombadas ou depressões.
3. Testes em campo: testar o sistema na rua e em rodovias para visualizar os resultados na prática.
4. Transformar a idéia em produto para ser comercializado.

REFERÊNCIAS

ARDUINO. **Arduino Duemilanove**. Disponível em: <<http://Arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove>>. Acesso em: 05 Jan. 2012.

AUTO GURU. Ele vira sua segurança aumenta. **Revista Auto Guru**. Disponível em: <<http://www.autoguru.com.br/2011/07/04/video-ele-vira-e-sua-seguranca-aumenta>> Acesso em: 01 jun. 2012.

BAZELA, Carlos. **Revista Mecatrônica Atual** N. 328. Pg 16 – 27. Setembro/2009.

BRAGA, Newton. Sistemas Embarcados. **Revista Saber Eletrônica** N. 363. Pg 34 – 40. Julho/2007.

BRIGNELL, John; WHITE, Neil. **Intelligent Sensor System**. London: Bookcraft, Bath, 1994.

CASTRUCCI, Plínio. **Controle Digital – Volume 3: Série Controle Automático de Sistemas dinâmicos**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 1994.

CORRÊA, Iran. O Giroscópio. **Museu de Topografia Prof. Laureano Chaffe – Departamento de Geodésia - UFRGS**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/museudetopografia/Artigos/Giroscopio.pdf>>. Acesso em: 14 fev. 2012.

CUNHA, Alessandro. Sensores. **Revista Saber Eletrônica** N. 363. Pg 34 – 40. Abril/2003.

DETRAN. **Resolução 277 do Conselho Nacional de Trânsito - Contran**. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_227.pdf>. Acesso em: 27 jun 2012.

ELETRONIC INVENTORY ONLINE. **Angular Rate Sensor XV-3500CB datasheet**. Disponível em: <<http://www.eio.com/p-41910-sure-electronics-mb-sm14111-angular-rate-sensor-xv-3500cb-prototype-pcb-dc-ss010.aspx>>. Acesso em: 23 mar. 2012.

FEDDER, Gary K. Integrated Microelectromechanical Gyroscopes. **Journal of Aerospace Engineering** Pg 66 – 70. ASCE / April/2003.

FORHAN, Neisy Amparo. **Giroscópio MEMS – Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/01.25.18.42>>. Acesso em: 22 abr. 2012.

FRANCO, Marina. **Farol de xenônio direcional é novo opcional do C4 Pallas**. Revista Auto Esporte. Disponível em: <<http://revistaautoesporte.globo.com/Revista/Autoesporte/0,,EMI5562-10142,00.html>> . Acesso em: 02 mar. 2012.

GAYAKWAD, Ramakant; SOKOLOFF, Leonard. **Analog and Digital Control Systems**. New Jersey: Prentice-Hall, 1988.

GUIMARÃES, Alexandre. **Eletrônica Embarcada Automotiva**. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2007.

GUIMARÃES, Alexandre. Sistemas “X-by-Wire”. **Revista Saber Eletrônica** N. 405. Pg 24 – 30. Outubro/2006.

IRAZABAL, Jean-Marc; BLOZIS, Steve. **AN10216-01 I2C Bus – Philips Semiconductors**. 2003. Disponível em: <http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2012.

KING, Martin Luther. **Pensador**. Disponível em: <<http://www.pensador.uol.com.br/frase/NjE4NTgy/>>. Acesso em: 15 abr. 2012.

LONE, Tiago; PATSKO, Luís Fernando. Tutorial servo-motor. **Revista Mecatrônica Atual** N. 266. Pg 33 – 38. Dezembro/2005.

MICROCONTROLLER-PROJECTS. I2C Tutorial. **Best Microcontroller-Projects**. Disponível em: <<http://www.best-microcontroller-projects.com/i2c-tutorial.html>,2005>. Acesso em: 14 abr. 2012.

NICOSUR, Braz. 2007 Citroën C5. **Citroën Top Speed**. Disponível em: <<http://www.topspeed.com/cars/citroen/2007-citroen-c5-ar32871.html>>. Acesso em: 15 jan. 2012.

OSRAM. **OSRAM XENARC - Lâmpadas de Descarga em Alta Intensidade**. Disponível em: <http://www.osram.com.br/osram_br/Consumidor/Iluminacao_Automotiva/Produtos/Faróis/XENARC/index.html>. Acesso em: 18 jul. 2012.

PYROELETRO. Servo-motor Control. **The Servo-motor**. Disponível em: <http://www.pyroelectro.com/tutorials/servo_motor/servomotor.html>. Acesso em: 23 mar. 2012.

SANTOS, André et ali. **Carro Inteligente**. Disponível em: <<http://carro-inteligente.blogspot.com.br/2010/02/faróis-adaptativos.html>>. Acesso em: 23 fev. 2012.

VANZATI, Federico. **Integrating the gyro to obtain the angular position**. VANZATI, 2011. Disponível em: <<http://scuola.arduino.cc/en/content/integrating-gyro-obtain-angular-position>>. Acesso em: 04 abr. 2012.

APÊNDICES

Apêndice A – Código do programa

```

#include <Wire.h>
#include <Servo.h>

#define Gyro_address B1101000
#define Register 0
#define ServoPin 2

Servo servo1;
Servo servo2;

void setup()
{
  //pinMode(2,OUTPUT);
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  servo1.attach(9);
  servo2.attach(5);
}

int gyro_const = 16645;
int data;
double w; // grad/sec
double angle = 90; // controls the headlamp angle
double rotation = 90; // controls the headlamp rotation
unsigned int time1 = 0;
unsigned int time2 = 0;
unsigned int timer1 = 0; //thresholding calibration
int x = 0;

void loop()
{
  data = Get_Gyro_Data();
  w=(data-gyro_const)/176;
  time1 = micros();
  angle+=w*(time1-time2)/1000000;
  timer1 = timer1 + 10;
  calibration();
  Servo_motion((int)angle);
  servo1.write((int)angle);
  servo2.write((int)angle*0.5); // servo 2
  time2 = time1;
  delay(10);
}

int Get_Gyro_Data()

```

Apêndice A – Código do programa (cont.)

```

{
  int data;
  Wire.beginTransaction(Gyro_address);
  Wire.send(Register);
  Wire.endTransmission();

  Wire.requestFrom(Gyro_address, 2);
  if(Wire.available()>=2)
    {
      data = Wire.receive();
      data |= Wire.receive() << 8;
    }
  return data;
}

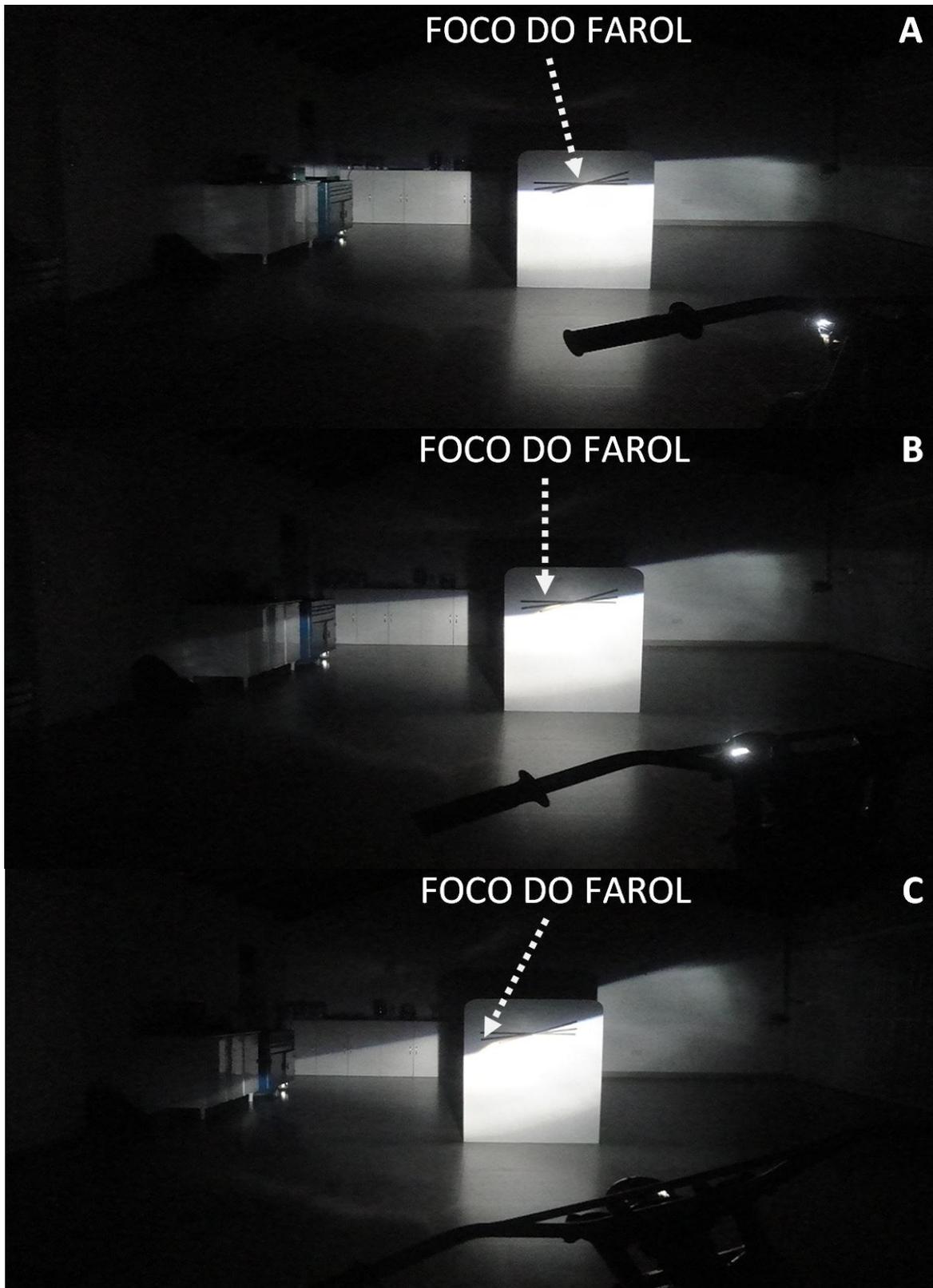
int calibration()
{
  if (timer1 > 250)
    {
      if ( ( angle >= 88 )and ( angle <= 92 ))
        {
          angle = 90;
        }
      timer1 = 0;
    }
  return timer1;
}

void Servo_motion(int angle)
{
  int time=390+10*angle;
  digitalWrite(ServoPin, HIGH);
  delayMicroseconds(time);
  digitalWrite(ServoPin, LOW);
  delayMicroseconds(20000-time);
}

```

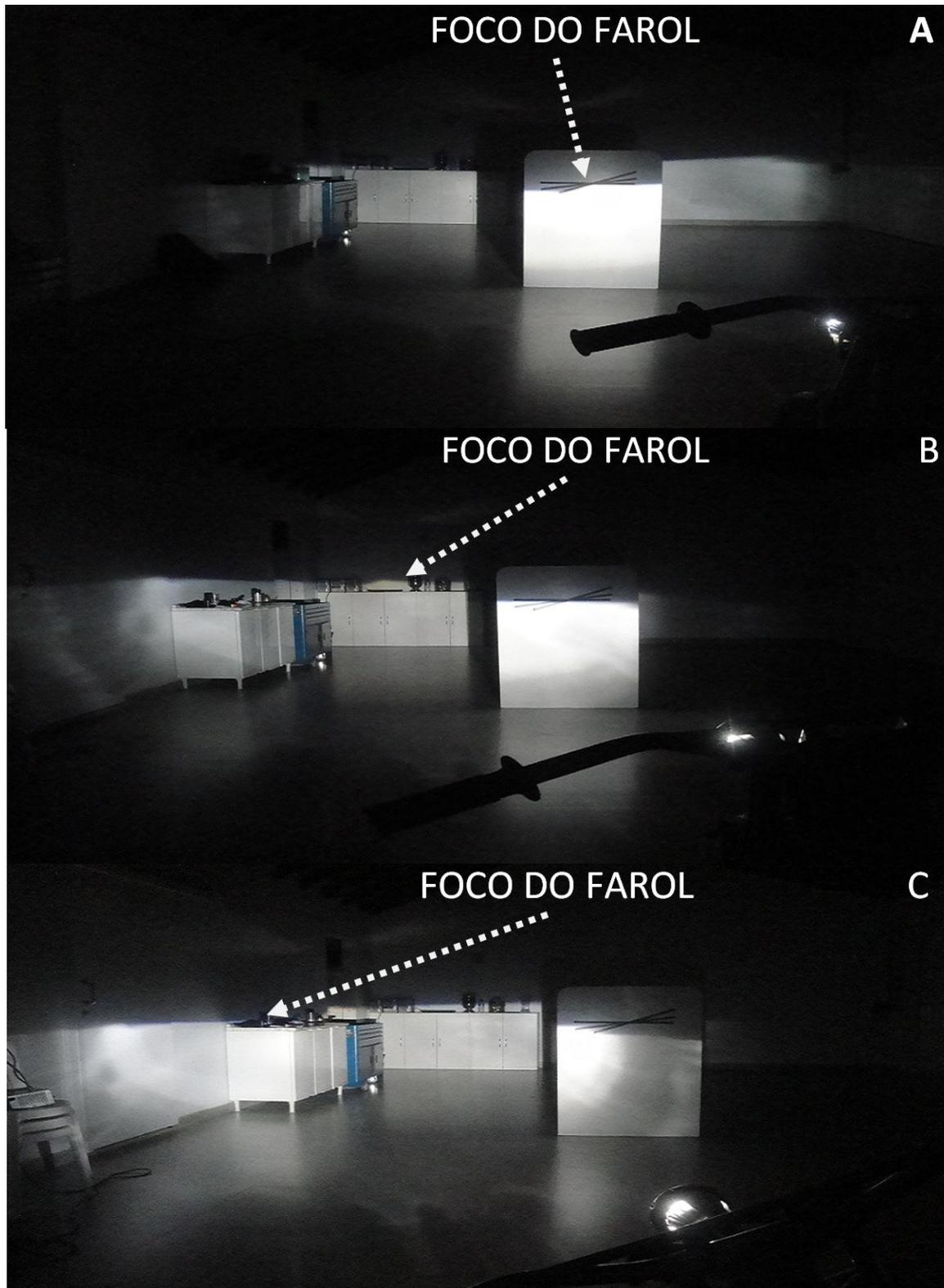
Apêndice B – Testes com o sistema desligado

As figuras A, B e C a seguir mostram os resultados dos testes com o sistema desligado para inclinações da motocicleta de 0, 15 e 30 graus respectivamente.

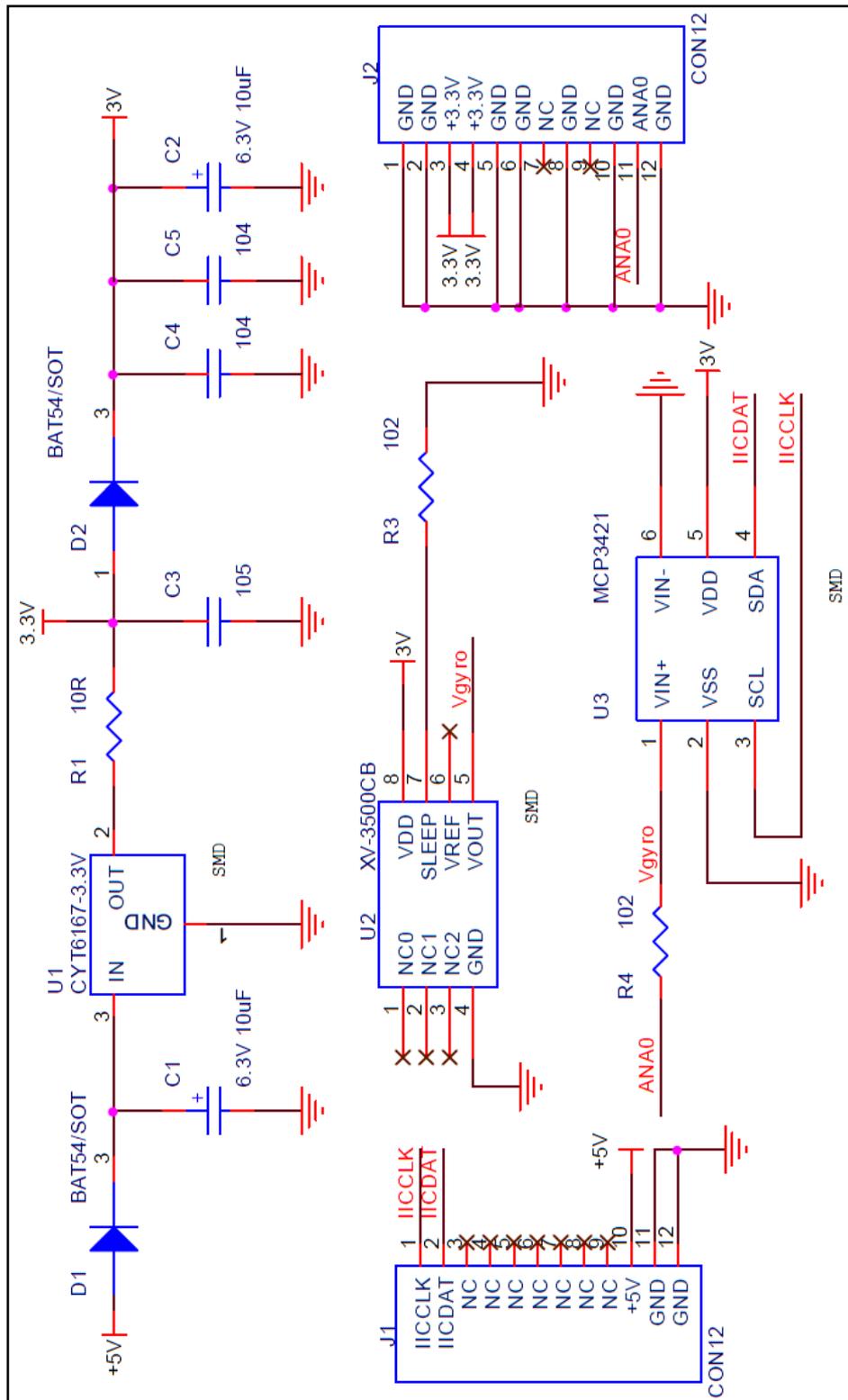


Apêndice C – Testes com o sistema ligado

As figuras A, B e C a seguir mostram os resultados dos testes com o sistema ligado para inclinações da motocicleta de 0, 15 e 30 graus respectivamente.

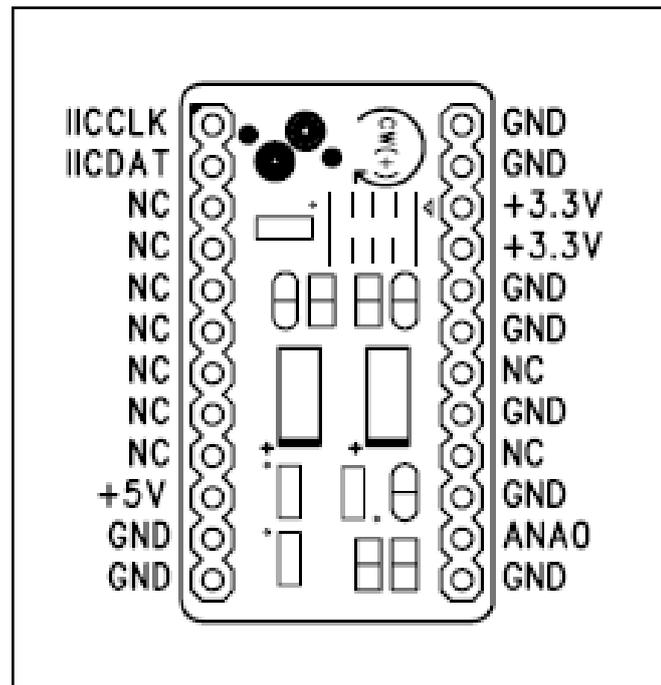


Anexo B – Esquema elétrico da placa do sensor de variação angular



Fonte: Arduino (2012)

Anexo C – Definições de portas da placa do giroscópio

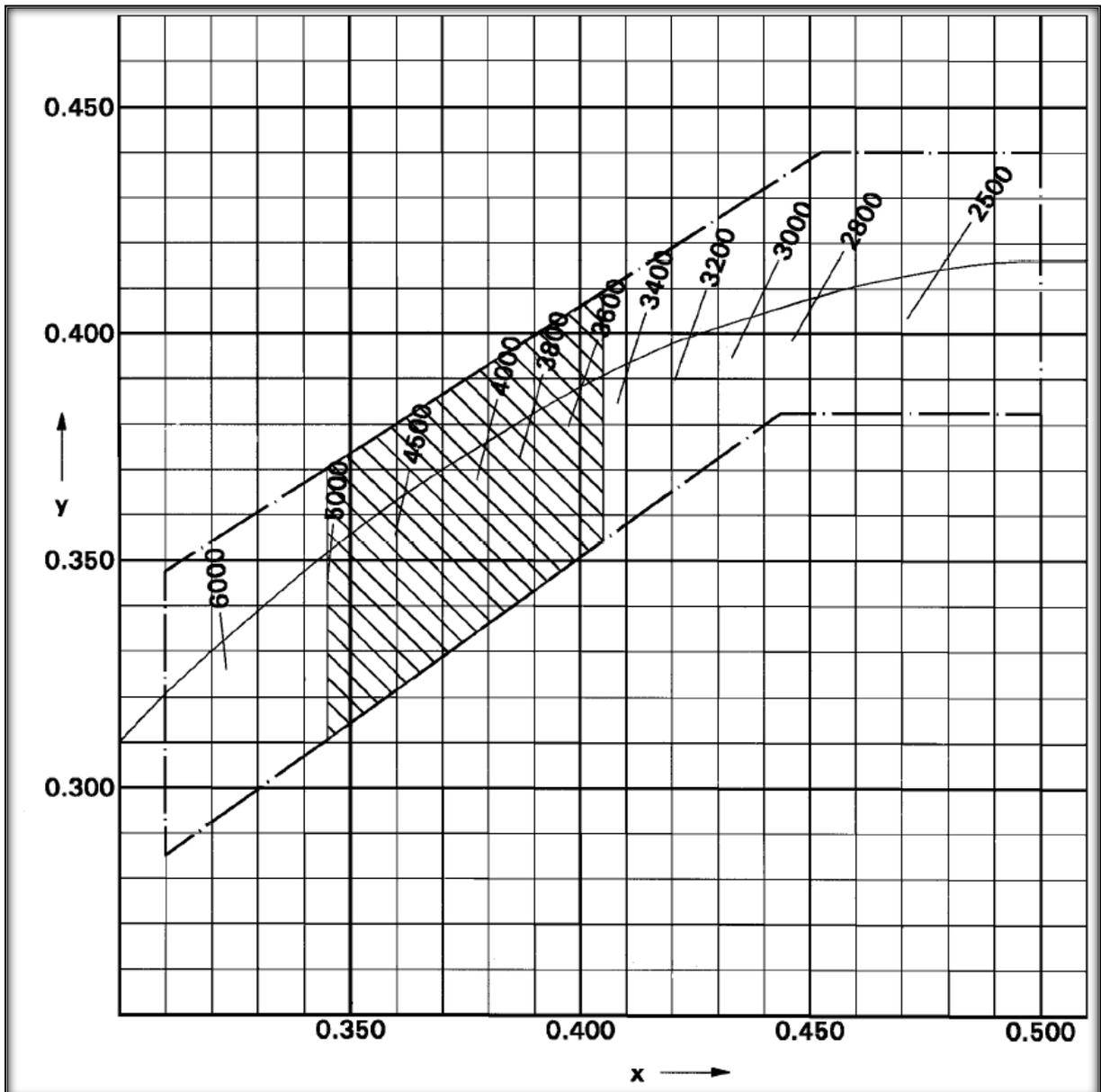


Fonte: Eletronic Inventory Online (2012)

Porta	Descrição
IICCLK, IICDAT	Barramento de clock e dados respectivamente, para interface IIC
NC	Nenhuma conexão
+5V	Alimentação 5V
GND	GND
+3,3V	Alimentação 3,3V
ANA0	Tensão de saída do sensor de variação angular

Anexo D – Tolerância de Cor

A figura a seguir mostra a área de tolerância de cor branca e a área de tolerância restrita para as fontes de luz de descarga de gás D1R, D1S, D2R, D2S, D3R, D3S, D4R e D4S (DETRAN, 2012).



Fonte: Detran (2012)