

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTOS ACADÊMICOS DE ELETRÔNICA E MECÂNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL

RAUL DE MACEDO QUEIXADA

**SISTEMA PARA AJUSTE AUTOMÁTICO DO CAMPO LUMINOSO DE
UM FOCO CIRÚRGICO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2016

RAUL DE MACEDO QUEIXADA

**SISTEMA PARA AJUSTE AUTOMÁTICO DO CAMPO LUMINOSO DE
UM FOCO CIRÚRGICO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, dos Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Luís Alberto Lucas

CURITIBA
2016

TERMO DE APROVAÇÃO

RAUL DE MACEDO QUEIXADA

SISTEMA PARA AJUSTE AUTOMÁTICO DO CAMPO LUMINOSO DE UM FOCO CIRÚRGICO

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 20 de abril de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecatrônica Industrial, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

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

Prof. M.Sc. Sérgio Moribe
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso
Departamento Acadêmico de Eletrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bertoldo Schneider Jr.
UTFPR

Prof. Dr. Maro Roger Guérios
UTFPR

Prof. Dr. Luís Alberto Lucas
Orientador - UTFPR

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

À Karen, minha esposa querida, que me incentivou e deu forças para alcançar os meus sonhos, aos meus amigos e familiares que me ajudaram, escutaram e sempre acreditaram em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Karen, minha esposa, que além de me incentivar a seguir em frente, me ajudou a realizar este trabalho. Agradeço aos meus amigos, colegas e familiares que de alguma forma se envolveram no projeto, deram opiniões e ajudaram. Agradeço também ao Professor Luís Alberto Lucas por toda a paciência de me orientar a transformar minha ideia em um trabalho acadêmico. Agradeço ao Professor Gilson Yukio Sato, que apesar de não poder estar presente como co-orientador, foi o responsável pelo meu interesse na área de engenharia biomédica durante o projeto integrador. Agradeço ainda a toda a Equipe da Sismatec por patrocinar e incentivar este projeto e confiar em meu trabalho.

RESUMO

MACEDO, Raul. **Sistema para ajuste automático do campo luminoso de um foco cirúrgico**. 2016. 135 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema para ajuste automático do campo luminoso de um foco cirúrgico de acordo com a distância entre ele e a superfície iluminada, visando assim reduzir o risco de infecção hospitalar e a otimização do uso do foco cirúrgico em procedimentos cirúrgicos. O sistema permite ligar ou desligar o ajuste automático, bem como fazer um ajuste manual do tamanho do campo em cinco níveis. Os principais componentes do sistema são sensor, servomotor, microcontrolador e interface do operador. O desenvolvimento de cada um destes itens, bem como sua integração, foi descrito e explorado. Um protótipo foi construído e com este foram realizados testes para verificar sua eficácia, comprovada por meio de medições e coleta de dados via comunicação serial.

Palavras chave: Foco Cirúrgico. Iluminação Cirúrgica. Sistema Microcontrolado.

ABSTRACT

MACEDO, Raul. **Surgical light luminous field automatic adjustment system**. 2016. 135 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

This paper presents the development of a system for automatic adjustment of the light field of a surgical light according to the distance between it and the illuminated surface, thus to reduce the risk of hospital infections and optimizing the use of surgical light on surgical procedures. The system allows to turn on or off the automatic adjustment, and make a manual adjustment of the field size in five levels. The main system components are sensor, servo motor, microcontroller and user interface. The development of each of these items as well as their integration, was described and explored. A prototype was built and with this were carried out tests to verify its efficacy, proven by means of measurements and data collection via serial communication.

Keywords: Surgical Light. Surgical Illumination. Microcontrolled system.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Medição da Iluminância Central	21
Figura 2 – Distribuição de luz	22
Figura 3 – Medições do diâmetro do campo luminoso e diâmetro d10 e d50.	23
Figura 4 – Profundidade de Iluminação.....	24
Figura 5 - Profundidade de Iluminação (Trilux)	25
Figura 6 - Profundidade de Iluminação (Oricare)	25
Figura 7 - Profundidade de Iluminação (Mediland).....	26
Figura 8 – Empunhadreira destacável.....	27
Figura 9 - Ajuste de campo luminoso para diâmetro constante e distância variável .	28
Figura 10 - Ajuste de diâmetro do campo luminoso para uma distância fixa	29
Figura 11 - Giro da manopla para ajuste de campo luminoso	29
Figura 12 - Representação em diagrama de blocos de um sistema	30
Figura 13 - Elementos de um sistema de controle em malha fechada.....	30
Figura 14 - Elementos de um sistema de controle em malha aberta	31
Figura 15 - Alvos planos e perpendiculares proporcionam leituras mais precisas do sensor	38
Figura 16 - Alvos irregulares acarretam em uma menor precisão de leitura do sensor	38
Figura 17 - Detecção Difusa.....	39
Figura 18 - Princípio de funcionamento de um sistema de transmissão mecânica ...	41
Figura 19 - Modelo de transmissão para ajuste de campo luminoso	42
Figura 20 - Elementos do sistema de transmissão do modelo estudado	43
Figura 21 – Limites de inclinação do sistema de transmissão.....	44
Figura 22 - Circuito com transistor efetuando controle de um motor por PWM.....	45
Figura 23 - Circuito ponte-H para servomotor	45
Figura 24 - Circuito com MOSFETs para motor de passo.....	46
Figura 25 - Circuito com driver para motor de passo	46
Figura 26 - Espectro eletromagnético	51
Figura 27 - Espectro do LED NVSL219AT-H3	51
Figura 28 - Espectro do LED NVSW219AT-H3	52
Figura 29 – Manopla destacável comum.....	53
Figura 30 – Manopla destacável M1LEC	53
Figura 31 – Exemplo de posicionamento de um sensor no centro do foco cirúrgico para testes.....	56
Figura 32 - Posicionamento da trena como instrumento de referência	57
Figura 33 - Medição de distância com o foco cirúrgico ligado	58
Figura 34 - Medição de raio de detecção lateral	59
Figura 35 - Diagrama simplificado de ligação entre o sensor MB1013 e o Arduino Mega2560	60
Figura 36 - Ponto zero de medição em relação ao sensor MB1013.....	60
Figura 37 - Diagrama simplificado de ligação entre o sensor GPY0A02YK e o Arduino Mega2560.....	61
Figura 38 - Ponto zero de medição em relação ao sensor GP2Y0A02YK	62
Figura 39 - Modelagem simplificada do sistema de transmissão	63
Figura 40 - Principais esforços no sistema de transmissão	64

Figura 41 - Sistema com momento aplicado ao eixo central.....	65
Figura 42 - Altura máxima de 44 mm para motor.....	67
Figura 43 - Largura e comprimento máximos de 75 x 100 mm para o motor.....	68
Figura 44 - Acessório de fixação do motor 1501MG.....	69
Figura 45 – Montagem do sistema motor.....	70
Figura 46 - Esquema de ligação do motor.....	70
Figura 47 - Esquema de ligação do motor com capacitor C2.....	71
Figura 48 - Membrana adesiva da placa dimmer.....	72
Figura 49 - Botões de operação da função de ajuste de foco.....	72
Figura 50 - Placa de testes do módulo TFT320QVT.....	73
Figura 51 - Curva de Resposta.....	78
Figura 52 - Diagrama simplificado do sistema.....	79
Figura 53 - Montagem do circuito de acionamento do motor.....	82
Figura 54 - Interface Touch Screen.....	83
Figura 55 - Posicionamento do luxímetro no teste final.....	84
Figura 56 - Montagem completa do ambiente final de testes.....	84
Figura 57 - Campo luminoso fixo (sem sistema automático) a 500 mm.....	87
Figura 58 - Campo luminoso fixo (sem sistema automático) a 1.000 mm.....	87
Figura 59 - Campo luminoso fixo (sem sistema automático) a 1.500 mm.....	88
Figura 60 - Campo luminoso com sistema de ajuste automático a 500 mm.....	89
Figura 61 - Campo luminoso com sistema de ajuste automático a 1.000 mm.....	89
Figura 62 - Campo luminoso com sistema de ajuste automático a 1.500 mm.....	90
Figura 63 - Ajuste manual de campo.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos sensores adquiridos.....	54
Tabela 2 - Características do motor comprado	69
Tabela 3 - Ângulos com iluminâncias máximas.....	76
Tabela 4 – Valor dos parâmetros para o sensor MB1013	80
Tabela 5 – Valor dos parâmetros para o sensor MB1023	81
Tabela 6 – Valor dos parâmetros para o sensor GP2Y0A02YK.....	81
Tabela 7 - Valores de iluminância medidos.....	85
Tabela 8 - Parâmetros do sistema completo	86

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i> (Conversor Analógico para Digital)
C	Capacitor
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
d10	<i>Light Field Diameter 10%</i> (Diâmetro do Campo Luminoso 10%)
d50	<i>Light Field Diameter 50%</i> (Diâmetro do Campo Luminoso 50%)
DAC	<i>Digital to Analog Converter</i> (Conversor Digital para Analógico)
DMS	Direct Memory Access (Acesso direto à Memória)
Eai	Erro aleatório da i-ésima indicação
Ec	<i>Central Illuminance</i> (Iluminância Central)
EM	<i>Medical Electrical Equipment</i> (Equipamento Eletromédico)
Es	Erro Sistemático
F	Força
FR	Força Resultante
GTO	<i>Gate Turn Off</i> (Desligamento pelo Gate)
IC	<i>Integrated Circuit</i> (Circuito Integrado)
IEC	International Electrotechnical Commission (Comissão Internacional de Eletrotécnica)
IGBT	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> (Transistor Bipolar de Porta Isolada)
li	Valor da i-ésima indicação individual
I/O	<i>In/Out</i> (Entrada/Saída)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
LFC	<i>Light Field Centre</i> (Centro do Campo Luminoso)
MI	Média de infinitas indicações do sistema de medição
MNI	Média de N indicações do sistema de medição
Mo	Momento em relação ao ponto O
MOSFET	<i>Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor</i> (Transistor de Efeito de Campo Metal-óxido-semicondutor)
Mt	Momento Total
NBR	Norma Brasileira
PCB	<i>Printed Circuit Board</i> (Placa de Circuito Impresso)
PIC	<i>PIC Programmable Interface Controller</i> (Controle de Interface Programável)
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> (Modulação por Largura de Pulso)
r	Raio ou distância da força F em relação ao ponto O
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de acesso aleatório)
Re	Faixa de dispersão dentro da qual se situa o erro aleatório
ROM	<i>Read Only Memory</i> (Memória Apenas para Leitura)
s	Desvio padrão experimental da amostra de N medidas
t	Coeficiente de Student
Td	Tendência
Vcc	Volt (Tensão) em Corrente Contínua
VVC	Valor Verdadeiro Convencional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	TEMA.....	14
1.2	DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	15
1.3	PROBLEMA.....	15
1.4	OBJETIVOS.....	17
1.4.1	Objetivo Geral.....	17
1.4.2	Objetivos Específicos.....	17
1.5	JUSTIFICATIVA.....	17
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	GRANDEZAS E CONCEITOS	20
2.1.1	Equipamento Eletromédico (<i>Medical Electrical Equipment</i>) - Em	20
2.1.2	Centro Do Campo Luminoso (<i>Light Field Centre</i>) - Lfc.....	20
2.1.3	Iluminância Central (<i>Central Illuminance</i>) - Ec.....	20
2.1.4	Diâmetro Do Campo Luminoso (<i>Light Field Diameter</i>) – D10 E D50	21
2.1.5	Profundidade De Iluminação (<i>Depth Illumination</i>).....	23
2.1.6	Diluição De Sombra (<i>Shadow Dilution</i>).....	26
2.2	FOCO CIRÚRGICO	26
2.2.1	Proteção Contra Falhas (<i>Fail Safe</i>).....	27
2.2.2	Empunhadora Destacável (<i>Detachable Handle</i>)	27
2.3	SISTEMA DE AJUSTE MANUAL DO CAMPO LUMINOSO	28
2.4	SISTEMA DE CONTROLE	29
2.4.1	Variável Controlada Ou Elemento De Processo	31
2.4.2	Variável Manipulada	31
2.4.3	Sinal De Controle Ou Referência.....	31
2.4.4	Controlador	31
2.4.5	Unidade De Correção	32
2.4.6	Dispositivo De Medição	32
2.4.7	Elementos Conversores.....	32
2.4.8	Curva De Resposta.....	32
2.5	TRANSDUTOR E SENSOR.....	33
2.5.1	Parâmetros De Seleção De Sensores	34
2.5.1.1	Faixa nominal.....	34
2.5.1.2	Resolução.....	34
2.5.1.3	Erro de medição.....	35
2.5.1.4	Precisão de medição	36
2.5.1.5	Repetibilidade de medição.....	36
2.5.1.6	Rejeição de objetos laterais	37
2.5.2	Tipos De Sensores	37
2.5.2.1	Sensor de ultrassom	37
2.5.2.2	Sensor óptico	38
2.6	MOTOR.....	39
2.6.1	Sistema De Transmissão	41
2.6.2	Circuito De Potência	44
2.6.3	Microcontrolador	47
2.6.4	Interface De Usuário	47

3	METODOLOGIA.....	49
3.1	SENSOR.....	49
3.1.1	Parâmetros Primários	49
3.1.1.1	Superfície refletora e fatores ambientais	49
3.1.1.2	Dimensões mecânicas	52
3.1.1.3	Faixa nominal.....	53
3.1.2	Parâmetros Secundários	53
3.1.2.1	Custo	54
3.1.2.2	Resolução.....	54
3.1.2.3	Sensores adquiridos	54
3.1.3	Parâmetros Terciários.....	55
3.1.3.1	Erro de medição.....	55
3.1.3.2	Precisão de medição	55
3.1.3.3	Repetibilidade de medição.....	55
3.1.3.4	Rejeição de objetos laterais	55
3.1.3.5	Testes	56
3.1.3.5.1	sensor ultrassônico mb1013.....	60
3.1.3.5.2	sensor ultrassônico mb1023.....	61
3.1.3.5.3	sensor infravermelho gp2y0a02yk.....	61
3.2	MOTOR E SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	62
3.2.1	Torque	62
3.2.2	Circuito De Acionamento	66
3.2.3	Dimensões Mecânicas	67
3.2.4	Custo	68
3.2.5	Motor Adquirido.....	68
3.2.6	Acoplamento	69
3.2.7	Testes	70
3.3	INTERFACE DE OPERAÇÃO	71
3.4	INTEGRAÇÃO DO SISTEMA	74
3.4.1	Sistema De Controle.....	74
3.4.1.1	Variável controlada ou elemento de processo	74
3.4.1.2	Variável manipulada	74
3.4.1.3	Sinal de controle ou referência	74
3.4.1.4	Controlador	74
3.4.1.5	Unidade de correção.....	75
3.4.1.6	Elemento de medição	75
3.4.1.7	Elementos conversores	75
3.4.1.8	Curva de resposta.....	75
3.4.2	Conexões E <i>Hardware</i>	78
3.4.3	<i>Firmware</i> De Controle.....	79
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	80
4.1	SENSORES.....	80
4.1.1	Testes	80
4.1.1.1	Sensor ultrassônico mb1013.....	80
4.1.1.2	Sensor ultrassônico mb1023.....	80
4.1.1.3	Sensor infravermelho gp2y0a02yk.....	81
4.1.2	Escolha Do Sensor	82
4.2	MOTOR.....	82
4.2.1	Testes	82

4.2.2	Escolha Do Motor	82
4.3	INTERFACE DE OPERAÇÃO	83
4.4	INTEGRAÇÃO DO SISTEMA	83
4.5	TESTES DE FUNCIONAMENTO	83
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
	REFERÊNCIAS.....	93
	ANEXOS	97
	ANEXO A - CÓDIGO DE TESTES DOS SENSORES MB1013 E MB1023	97
	ANEXO B - CÓDIGO PARA O TESTE DO SENSOR GP2Y0A02YK.....	98
	ANEXO C - EIXO CENTRAL DE TRANSMISSÃO MODIFICADO	99
	ANEXO D - CHAPA DO SUPORTE DO MOTOR	100
	ANEXO E - REFORÇO DO SUPORTE DO MOTOR	101
	ANEXO F - SUPORTE DO MOTOR	102
	ANEXO G - CHAPA DE FIXAÇÃO INTERNA MODIFICADA.....	103
	ANEXO H - CÓDIGO DE TESTES DO MOTOR 1501MG	104
	ANEXO I - PINOS DE CONEXÃO DO TFT320QVT	105
	ANEXO J - PINOS DO TFT320QVT E LIGAÇÃO RECOMENDADA PARA ARDUÍNO MEGA2560.....	106
	ANEXO K - CÓDIGO DE TESTE DO MÓDULO TFT320QVT	107
	ANEXO L - GRÁFICOS E TABELAS DE LEITURA DO SENSOR MB1013.....	112
	ANEXO M - GRÁFICOS E TABELAS DE LEITURA DO SENSOR MB1023.....	113
	ANEXO N - GRÁFICOS E TABELAS DE LEITURA DO SENSOR GP2Y0A02YK..	114
	ANEXO O - CÓDIGO DE TESTE DA INTERFACE DE OPERAÇÃO	115
	ANEXO P - CÓDIGO COMPLETO.....	122

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

O ambiente cirúrgico é, em vários aspectos, um dos locais mais críticos de um hospital, exigindo controles rigorosos para evitar contaminações e otimizar processos.

Sendo assim, todos os elementos dentro de uma sala cirúrgica devem ser projetados para minimizar erros no procedimento cirúrgico, bem como torná-lo ágil e seguro.

Entre os equipamentos que dão suporte ao cirurgião, um elemento pouco explorado, porém crítico, é o foco cirúrgico.

Os focos cirúrgicos, também chamados de luminárias cirúrgicas, são equipamentos hospitalares que tem como função iluminar a área de interesse durante operações cirúrgicas, possibilitando assim uma melhor visibilidade para o médico e os outros envolvidos, permitindo a diferenciação visual de tecidos e oferecendo boa homogeneidade da superfície iluminada durante a observação (ABNT, 2013).

Na última década os focos cirúrgicos passaram por uma grande evolução, impulsionada principalmente pela busca de eficiência energética. Essa evolução culminou com a substituição das antigas lâmpadas alógenas por placas de LEDs (UNITED STATES PATENT, 2001).

Para adaptar esta nova tecnologia às normas específicas para equipamentos hospitalares, como a ABNT NBR IEC 60601-2-41 (2013), diversos conceitos tiveram que ser revistos. As placas de dimerização foram reprojatadas para controlar a potência dos LEDs via PWM, permitindo assim ajustar sua iluminância e temperatura de cor separadamente. Já a focalização do campo de luz, antes feita por refletores, exigiu o estudo de posicionamento dos LEDs e a elaboração de colimadores mais precisos e baratos que os existentes no mercado até então (UNITED STATES PATENT, 2001).

Apesar do atendimento às diversas normas, o manuseio dos focos cirúrgicos ainda possui diversas operações pouco otimizadas, gerando ineficiência e aumentando o risco de contaminações durante a cirurgia.

O ajuste do diâmetro do campo luminoso pode ser enquadrado na categoria de operações pouco eficazes e que exigem o contato direto de uma pessoa esterilizada com um equipamento.

Para que este processo seja otimizado, é essencial compreender determinados conceitos de iluminação, exigências normativas e elementos do equipamento, permitindo-se assim o desenvolvimento de um sistema mecatrônico para o ajuste automático do campo luminoso de um foco cirúrgico de acordo com sua distância da superfície iluminada, bem como sua operação remota.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo explora apenas uma das operações manuais necessárias para a preparação de um foco cirúrgico durante procedimentos cirúrgicos. Os demais processos, como movimentação, ajuste de temperatura de cor, intensidade luminosa, entre outros, não serão abordados neste documento.

Os estudos realizados tratam exclusivamente do modelo de foco cirúrgico 4LE do fabricante Sismatec de acordo com a amostra e documentação concedida pela empresa em questão para a realização do presente trabalho.

As limitações orçamentárias presentes vão ao encontro da redução de custos do sistema, aumentando assim a probabilidade deste se tornar um produto posteriormente. Porém, o presente trabalho não aborda os processos produtivos, custos de produção, estudo de mercado ou viabilidade econômica do sistema.

1.3 PROBLEMA

Entre os fatores críticos de uma operação cirúrgica, a assepsia é um dos principais, tendo em vista que 77% das mortes durante operações cirúrgicas são causadas por infecções graves, sendo estas, via de regra, desenvolvidas em locais acessados durante a cirurgia (MEDEIROS et al., 2003).

No Brasil estima-se que 5% a 15% dos pacientes internados contraem algum tipo de infecção hospitalar. Com o intuito de reduzir o índice de infecções, uma série

de procedimentos de assepsia são desenvolvidos e aprimorados continuamente (MACHADO et al., 2001).

Antes de um procedimento cirúrgico, determinado perímetro ao redor da mesa de operações é esterilizado e isolado (perímetro estéril). Muitos instrumentos e componentes móveis da sala passam por uma autoclave para ter sua esterilização garantida. Entre os componentes autoclavados, está a capa da manopla do foco cirúrgico, também chamada de empunhadreira destacável, conforme especificado na ABNT NBR IEC 60601-2-41 (2013).

Portanto, durante o procedimento cirúrgico, apenas as pessoas com luvas esterilizadas podem tocar na manopla (MACHADO et al., 2001). Porém, em grande parte dos focos cirúrgicos, a manopla além de ser o único ponto estéril para a movimentação das cúpulas do foco cirúrgico, também é o ponto de ajuste do campo de luz.

Por meio de um movimento rotativo na manopla é possível alterar a inclinação das placas de LED, ajustando assim o diâmetro do campo de luz.

No entanto, todos os profissionais localizados dentro do perímetro estéril durante a cirurgia estão envolvidos em atividades complexas, que não podem ser interrompidas para o reajuste do diâmetro de iluminação a cada movimentação da mesa cirúrgica ou do paciente, nem tampouco quando requisitado por um dos cirurgiões.

Além disso, segundo Oliveira et al. (2004), as manoplas “podem representar importantes fontes de contaminação” em alguns casos, mesmo tendo passado pelos procedimentos de esterilização.

Por este motivo e pela dificuldade de circulação no perímetro estéril, muitas vezes a operação ocorre com o diâmetro do campo luminoso impróprio, deixando assim de proporcionar a iluminância adequada para uma visualização ótima da área de interesse do paciente operado.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um sistema para ajuste automático do campo luminoso de um foco cirúrgico de acordo com a distância entre ele e a superfície iluminada.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Escolher o sensor mais adequado para a detecção da distância;
- Escolher o motor mais adequado para a movimentação das placas de LEDs;
- Desenvolver o sistema de acoplamento e transmissão para a movimentação das placas de LEDs;
- Desenvolver o *firmware*;
- Desenvolver a interface de operação;
- Avaliar a eficácia do sistema;

1.5 JUSTIFICATIVA

O estudo de tempos e métodos é importante para diversos segmentos, visando encontrar o melhor método de se executar a tarefa em relação ao aproveitamento de tempo (BARNES, 1986), mas em poucas aplicações seu impacto é tão crítico quanto em um procedimento cirúrgico, onde uma otimização na utilização do tempo pode diferenciar um procedimento bem-sucedido de um fracassado.

Tendo em vista a importância de um bom aproveitamento do tempo de cada profissional envolvido no procedimento cirúrgico, a otimização de processos simples se mostra essencial.

Além da importância da eficiência, deve-se ainda destacar os riscos de contaminação no manuseio de focos cirúrgicos, especialmente ao iniciar-se a síntese da ferida operatória, sendo recomendada até mesmo a troca das luvas após o ajuste do foco cirúrgico e a não manipulação em momentos posteriores (OLIVEIRA et al., 2004).

Estudos de Oliveira et al. (2004) demonstraram que entre 43 cirurgias, 22 apresentaram manoplas contaminadas ao final do procedimento, representando 51,2% dos casos.

Sabendo que a operação do foco cirúrgico pode se fazer necessária durante o procedimento, mas tendo em vista que esta operação pode causar infecções hospitalares pelo manuseio da manopla e posterior contato com a ferida operatória, faz-se necessário o estudo de soluções para permitir o ajuste do campo luminoso de forma automática ou remota.

Sendo assim, o processo de ajuste do campo luminoso de um foco cirúrgico, apesar de não mostrar complexidade em situações ideais, pode apresentar riscos de contaminação ao procedimento cirúrgico, além de apresentar um difícil acesso e grande uso de tempo, sendo assim um ponto importante de automatização.

A viabilização da automação de processos simples se torna possível conforme o custo de microcontroladores, sensores e motores se torna mais baixo, bem como suas dimensões e peso se tornam menores.

É possível que em pouco tempo todos os componentes da sala cirúrgica sejam automatizados, deixando aos profissionais apenas a responsabilidade de realizar a operação. Deste modo condições básicas para a operação, como uma boa iluminação no campo de interesse, podem ser mantidas sem a possibilidade de falhas humanas.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O projeto foi desenvolvido com uma fase inicial de pesquisa, com a leitura, aquisição e separação de dados relevantes, para somente então iniciar a fase de testes de itens comerciais, onde os resultados e escolhas dos componentes do sistema foram registrados.

Finalmente as fases de projeto de itens de integração, como acoplamentos mecânicos, placas eletrônicas e desenvolvimento do *firmware* foram realizadas.

Após o projeto e fabricação de um protótipo de cada parte específica do sistema, sua montagem foi realizada, para então iniciar os testes de funcionamento do sistema completo. Relatórios de resultados foram obtidos, possibilitando a análise de eficácia do sistema e a finalização do projeto.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está organizado da seguinte forma.

No capítulo 2 serão explorados os temas relevantes para o trabalho, com base em normas, artigos, manuais, livros, teses e monografias.

Serão abordados inicialmente conceitos do equipamento de estudo, bem como de suas normas, para então iniciar a descrição de sistemas de controle e seus componentes, como sensores, motores e interface de operação.

Já no capítulo 3, serão descritos os procedimentos tomados para o dimensionamento e escolha de sensores e motores, bem como para o desenvolvimento da interface de operação e da integração do sistema.

Tendo como base os procedimentos descritos na Metodologia, no capítulo 4 serão descritos os resultados obtidos e feitas as devidas análises relacionados ao dimensionamento, escolha e testes de sensores, motores, interface de operação e itens de integração do sistema, assim como do sistema completo.

No capítulo 5 serão retomados os objetivos, apontando como foram atingidos por meio do trabalho realizado. Serão ainda sugeridos trabalhos futuros que possam ser realizados a partir do estudo realizado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 GRANDEZAS E CONCEITOS

É essencial compreender as grandezas e conceitos mais relevantes para o presente estudo, buscando como base a norma ABNT NBR IEC 60601-2-41:2012 – Equipamentos médicos elétricos – Parte 2-41: Requisitos especiais para a segurança das luminárias cirúrgicas e luminárias para diagnóstico, Versão corrigida 27.11.2013 (ABNT, 2013).

2.1.1 Equipamento Eletromédico (*MEDICAL ELECTRICAL EQUIPMENT*) - EM

Adiante chamado de equipamento EM, é um equipamento elétrico, fornecido com uma ou mais conexões para a rede de abastecimento individual, destinado a diagnosticar, tratar ou monitorar o paciente sob supervisão médica e que faz contato físico ou elétrico com o paciente e/ou transfere energia para ou do paciente e/ou detecta tal transferência de energia para ou do paciente (ABNT, 2013).

2.1.2 Centro do Campo Luminoso (*LIGHT FIELD CENTRE*) - LFC

O centro do campo luminoso é o ponto de iluminância máxima no campo luminoso (área iluminada). É o ponto de referência para o tamanho e distribuição do campo luminoso e medições de distribuição (ABNT, 2013).

2.1.3 Iluminância Central (*CENTRAL ILLUMINANCE*) - E_c

Iluminância central é aquela que ocorre a uma distância de 1.000 mm (ou à distância especificada pelo fabricante, se a faixa de trabalho especificada não incluir 1.000 mm) da área de emissão de luz do equipamento EM no centro do campo luminoso sem nenhuma obstrução do feixe luminoso (ABNT, 2013). Medida no centro do campo luminoso (ABNT, 2013) como mostrado na Figura 1.

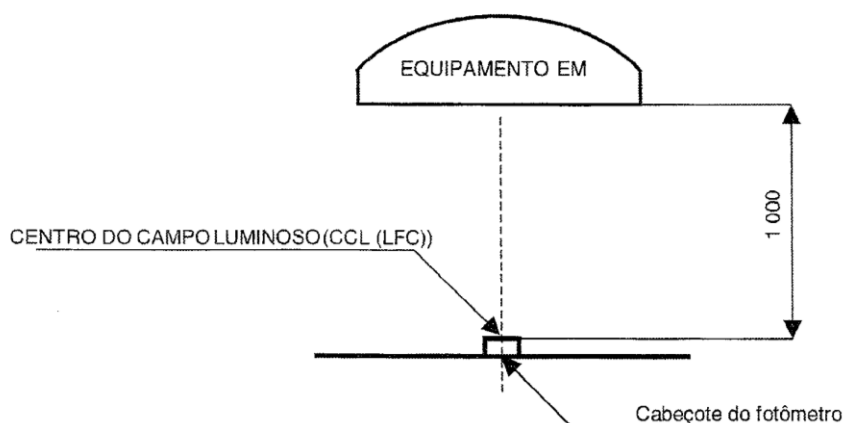


Figura 1 – Medição da Iluminância Central

Fonte: ABNT (2013)

Para esta medição, é necessário posicionar o instrumento de medição de iluminância, sendo este um fotômetro ou luxímetro, no centro do campo luminoso a um metro de distância da área de emissão de luz do equipamento EM (ABNT, 2013).

Ainda segundo a ABNT (2013), sem qualquer obstrução do feixe luminoso, o nível da iluminância central deve atingir o valor mínimo de 40 klux e não pode exceder 160klux.

2.1.4 Diâmetro do Campo Luminoso (*LIGHT FIELD DIAMETER*) – d10 e d50

O diâmetro d10 é o diâmetro de um círculo ao redor do ponto da iluminância central onde a iluminância atinge 10% da E_c (ABNT, 2013).

O diâmetro d50 é o diâmetro no qual a iluminância atinge 50% da iluminância central de uma única luminária cirúrgica deve ser de pelo menos 50% do diâmetro do campo luminoso d10, conforme mostrado na Figura 2.

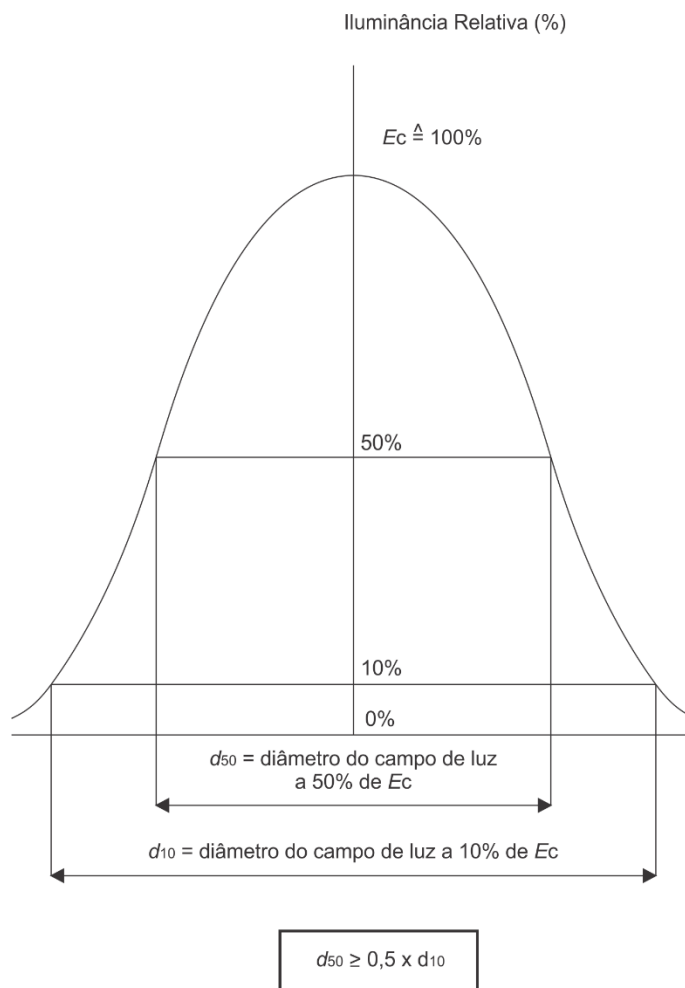


Figura 2 – Distribuição de luz

Fonte: ABNT (2013)

O procedimento de medição para encontrar a medida do d_{10} e d_{50} é mostrado na Figura 3.

Para realizar esta medição, é necessário repetir o procedimento de medição de iluminância central, e então mover o fotômetro nas direções indicadas (P1, P2, etc) até que o valor de iluminância atinja 50% do valor da iluminância central para d_{50} e 10% para d_{10} . A distância entre o centro do fotômetro e o centro do campo de luz deve ser marcada a cada deslocamento.

Após realizar a medição em cada uma das direções indicadas, os valores das medições de distância entre o centro do campo de luz e o centro do fotômetro devem ser somados e divididos pelo número de medições, para assim obter uma média para o valor de d_{10} e d_{50} .

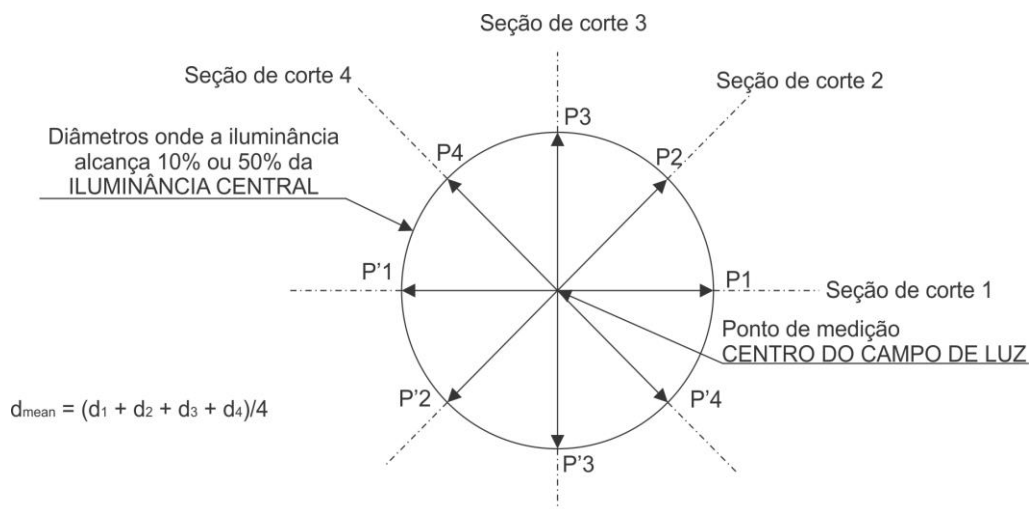


Figura 3 – Medições do diâmetro do campo luminoso e diâmetro d10 e d50.

Fonte: ABNT (2013)

2.1.5 Profundidade de Iluminação (*DEPTH ILLUMINATION*)

A profundidade de iluminação é o comprimento medido ao longo do eixo óptico onde a iluminância atinge pelo menos 60% da iluminância central (ABNT, 2013).

O equipamento EM é ajustado a 1.000 mm (ou a distância de trabalho especificada) para a medição da iluminância central. Desta posição o cabeçote do fotômetro é movido para cima e para baixo ao longo de uma linha vertical que passa através do centro do campo luminoso, até que a iluminância atinja 60% da iluminância central anterior. A distância entre a medição superior e inferior fornece a profundidade da iluminação (ABNT, 2013), conforme mostrado na Figura 4.

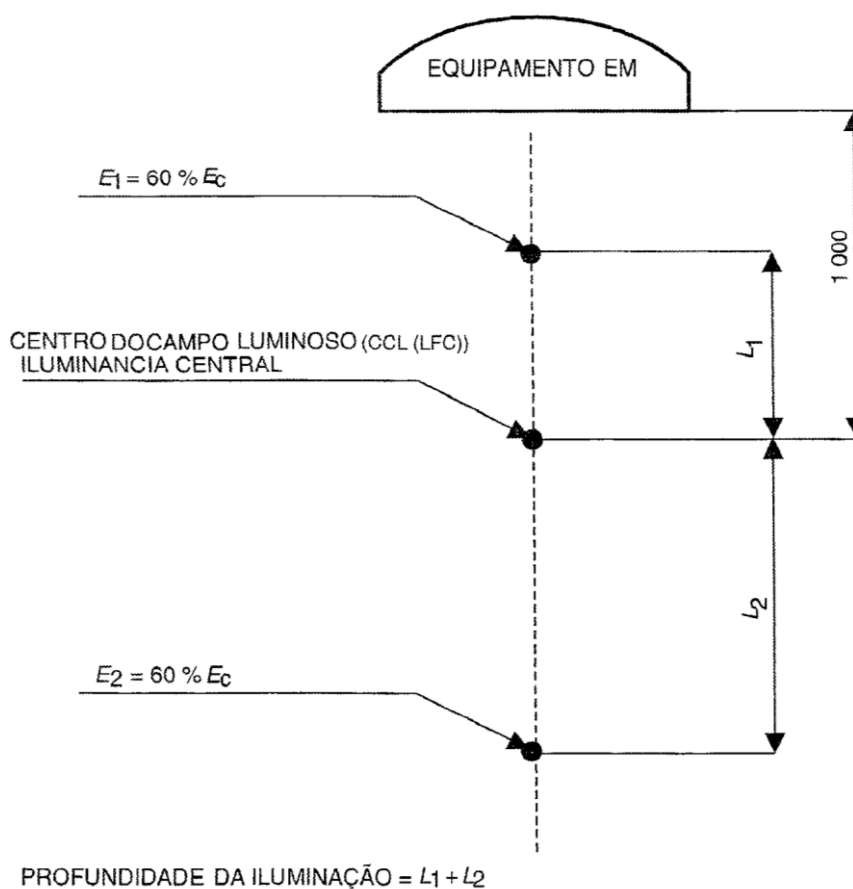


Figura 4 – Profundidade de Iluminação

Fonte: ABNT (2013)

Em versões anteriores da norma IEC 60601-2-41, a definição de Profundidade de Iluminação era “Comprimento medido ao longo do eixo óptico onde a iluminância atinge pelo menos 20% da iluminância central” (IEC, 2000). O impacto desta alteração na gama entendida como ideal para a profundidade de iluminação de 20% de E_c para 60% de E_c é um ponto importante para a justificativa do presente trabalho.

As Figuras 5, 6 e 7 mostram como três fabricantes diferentes apresentam a profundidade de iluminação em seus manuais.

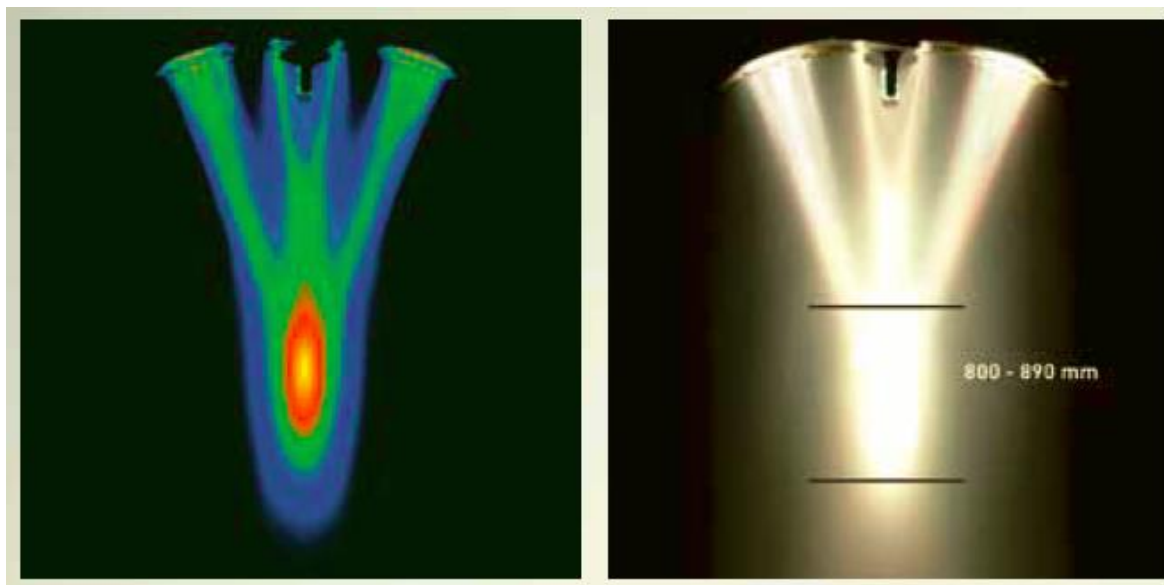


Figura 5 - Profundidade de Iluminação (Trilux)

Fonte: Trilux (2014)

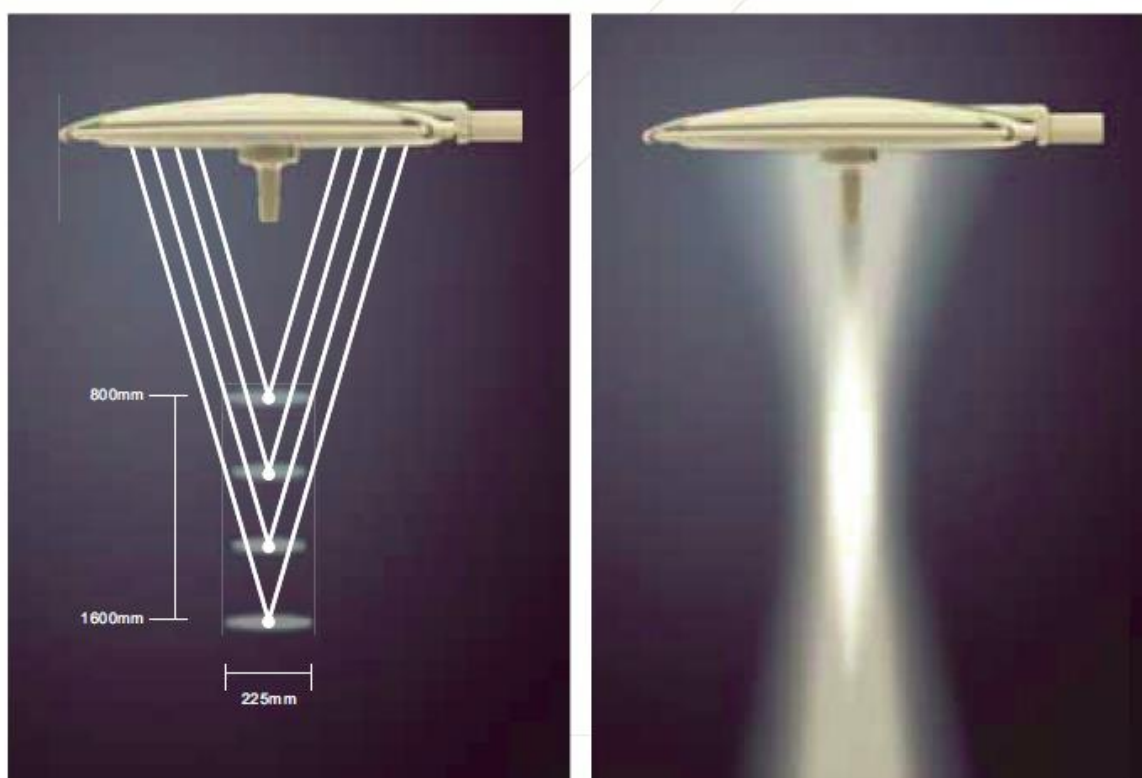


Figura 6 - Profundidade de Iluminação (Oricare)

Fonte: Oricare (2014)

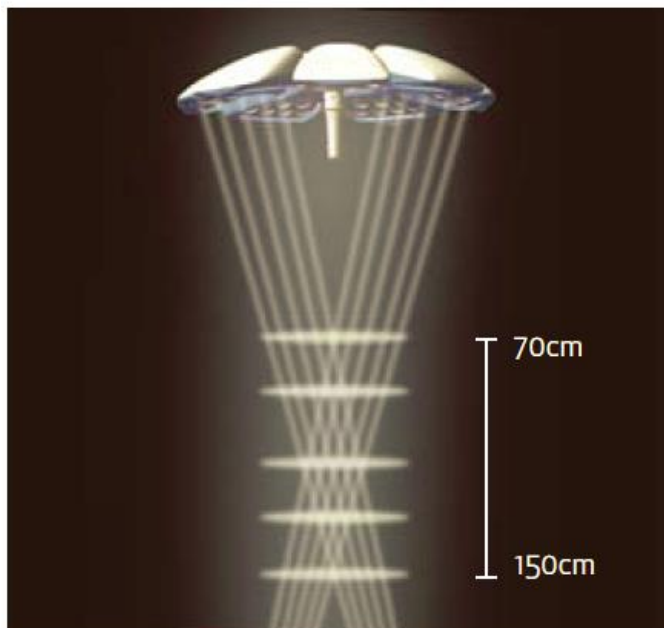


Figura 7 - Profundidade de Iluminação (Mediland)

Fonte: Mediland (2014)

2.1.6 Diluição de Sombra (*SHADOW DILUTION*)

A diluição de sombra é a habilidade do equipamento EM em minimizar o impacto de sombras na área de trabalho devidas à obstrução parcial pelo operador da luz emitida (ABNT, 2013).

2.2 FOCO CIRÚRGICO

Um foco cirúrgico ou luminária cirúrgica, segundo a ABNT NBR IEC 60601-2-41 (2013) é o equipamento eletromédico que fornece uma iluminação central adequada para iluminar localmente o corpo do paciente. Este equipamento destina-se a apoiar o tratamento e diagnóstico e para ser usado em salas de operação, bem como iluminar o fundo de cavidades profundas e minimizar a fadiga do olho do cirurgião, além de fornecer iluminação direcionada adequadamente para permitir a visão estereoscópica necessária, rapidamente e sem ambiguidade, e ter um espectro óptico que reproduza todas as cores fielmente e que seja caracterizado pela temperatura de cor e pelo índice de reprodução de cor.

O sistema de focos cirúrgicos deve possuir um sistema estabilizador em caso de mau funcionamento (*fail safe*) e uma empunhadeira (manopla) destacável por meio de uma autoclave (ABNT, 2013).

A seguir são descritos alguns conceitos relacionados ao equipamento em questão conforme a norma vigente.

2.2.1 Proteção Contra Falhas (*FAIL SAFE*)

A proteção contra falhas é a capacidade de um equipamento EM de fornecer a iluminância mínima a ser direcionada para o campo cirúrgico, mesmo na condição anormal sob uma só falha (ABNT, 2013).

2.2.2 Empunhadeira Destacável (*DETACHABLE HANDLE*)

A empunhadeira destacável é o dispositivo destinado a posicionar e ajustar a luminária e que pode ser removido do equipamento EM. A empunhadeira destacável, também chamada de manopla, pode ser esterilizável de forma a se manter em condições de assepsia (ABNT, 2013).

A Figura 8 mostra a posição da manopla em relação ao equipamento EM:

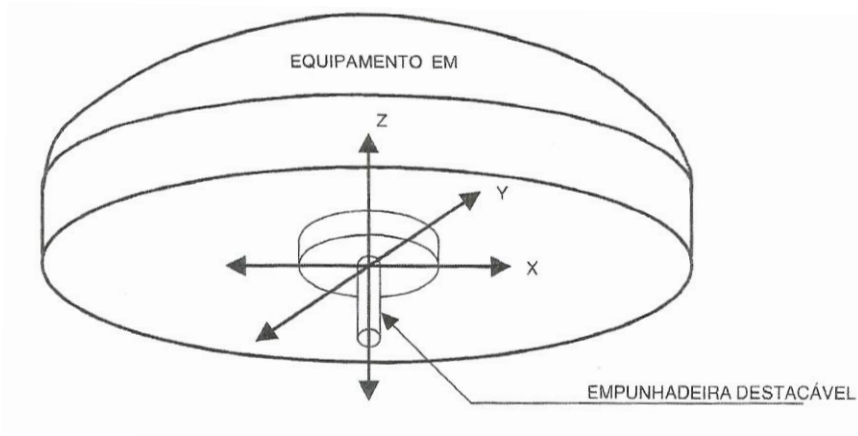


Figura 8 – Empunhadeira destacável

Fonte: ABNT (2013)

É importante destacar que não existe a obrigatoriedade da manopla destacável ser esterilizável (ABNT, 2013), tornando assim ainda mais importante a existência de sistemas de automação como o proposto no presente trabalho, já que durante uma cirurgia é comum a necessidade de reajuste do diâmetro do campo luminoso, comumente feita pela manopla como descrito a seguir.

2.3 SISTEMA DE AJUSTE MANUAL DO CAMPO LUMINOSO

Conforme citado anteriormente, em alguns modelos de focos cirúrgicos já é possível observar um sistema manual para ajuste do campo luminoso, comumente ativado pelo giro da manopla destacável (SISMATEC, 2013). A seguir o sistema manual do modelo estudado será descrito em detalhes, sabendo que este será o modelo que receberá o sistema automático.

O ajuste de campo luminoso pode ter dois objetivos:

I – Manter o diâmetro do campo luminoso constante para qualquer distância do campo luminoso em relação ao equipamento, conforme mostrado na Figura 9, junto aos limites mínimo e máximo para o modelo estudado. É comumente usado para quando existe ajuste na altura da mesa cirúrgica (SISMATEC, 2013).

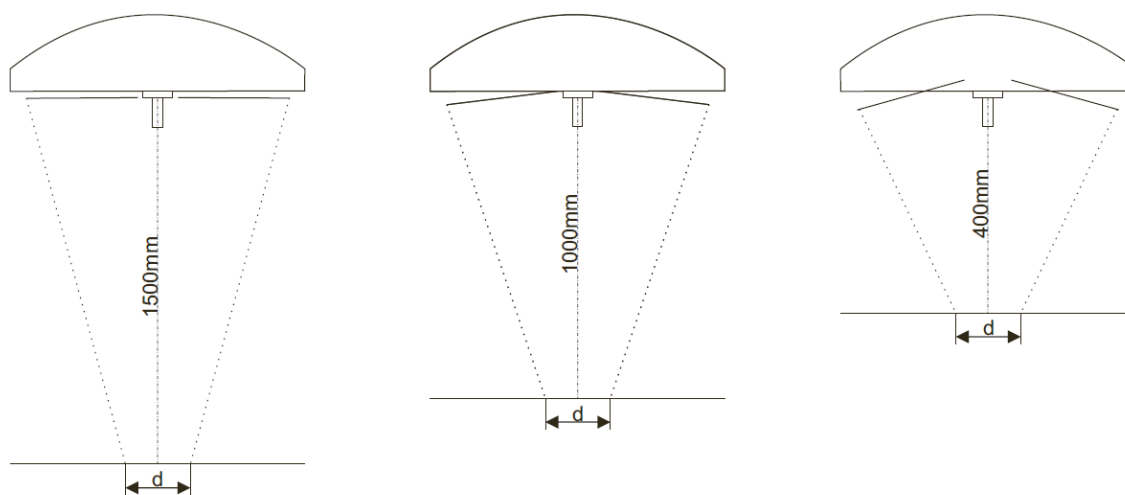


Figura 9 - Ajuste de campo luminoso para diâmetro constante e distância variável

Fonte: Sismatec (2013)

II – Ajustar o diâmetro do campo luminoso para uma distância fixa do campo luminoso em relação ao equipamento, conforme mostrado na Figura 10, junto aos

limites mínimo e máximo para o modelo estudado. É comumente usado para diferentes tipos de cirurgia, por exemplo, para cirurgias de neurologia é comum usar diâmetros pequenos, enquanto para cirurgias de ortopedia de grande porte é comum utilizar diâmetros grandes (SISMATEC, 2013).

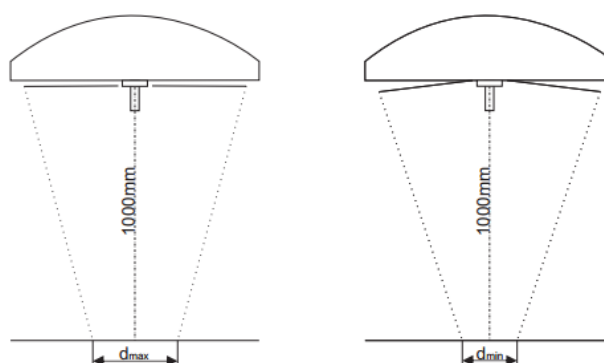


Figura 10 - Ajuste de diâmetro do campo luminoso para uma distância fixa

Fonte: Sismatec (2013)

Para qualquer um dos casos o ajuste pode ser feito girando a manopla no sentido horário ou anti-horário, conforme mostrado na Figura 11 (SISMATEC, 2013).



Figura 11 - Giro da manopla para ajuste de campo luminoso

Fonte: Sismatec (2013)

2.4 SISTEMA DE CONTROLE

Segundo Haykin e Veen (2001), um sistema é formalmente definido como uma entidade que manipula um ou mais sinais para realizar uma função, produzindo, assim, novos sinais. A Figura 12 ilustra a interação entre um sistema e seus sinais.

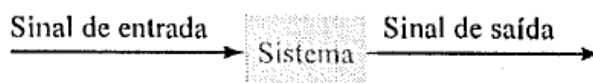


Figura 12 - Representação em diagrama de blocos de um sistema

Fonte: Haykin e Veen (2001)

Já o sinal é definido como uma função de uma ou mais variáveis, a qual veicula informações sobre a natureza de um fenômeno físico (HAYKIN e VEEN, 2001).

Um sistema de controle é utilizado quando é necessária uma resposta satisfatória e um desempenho robusto¹ por meio de uma regulação. A obtenção dessas propriedades desejáveis normalmente exige o uso de realimentação, gerando assim um sistema de controle com realimentação, retroativo ou em malha fechada (HAYKIN e VEEN, 2001).

Em um sistema de controle retroativo, a variável controlada é medida por um sensor, e a informação é transmitida (realimentada) ao controlador para influenciar a variável controlada (FRANKLIN *et. al*, 2013).

Segundo Bolton (2008), um sistema de controle em malha fechada com controle digital possui os elementos mostrados na Figura 13.

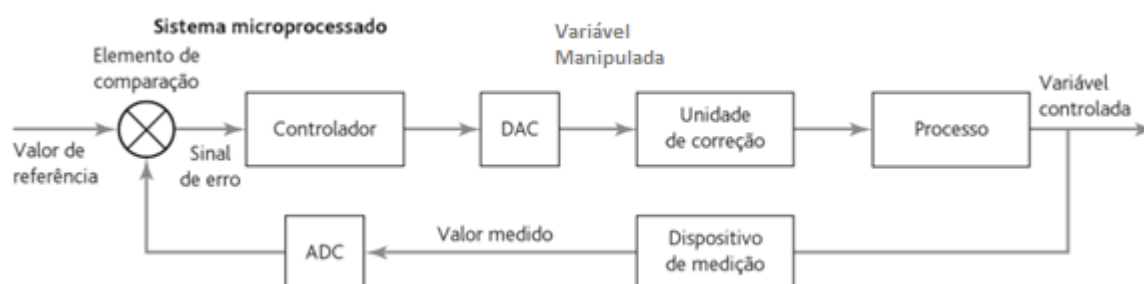


Figura 13 - Elementos de um sistema de controle em malha fechada

Fonte: Adaptado de Bolton (2008)

¹ A robustez de desempenho é a capacidade que o sistema em malha fechada tem em manter um desempenho mínimo frente às mudanças no ponto de operação (OLIVEIRA, RAMOS e BRETAS, 2005).

No entanto, em diversas aplicações os sistemas em malha aberta são vantajosos, por serem relativamente simples e conseqüentemente de baixo custo e, geralmente, com boa confiabilidade (BOLTON, 2008). A Figura 14 apresenta um sistema em malha aberta com seus elementos, explorados a seguir.



Figura 14 - Elementos de um sistema de controle em malha aberta

Fonte: Adaptado de Bolton (2008)

2.4.1 Variável Controlada ou Elemento de Processo

A variável controlada é a grandeza que é controlada, isto é, a saída do sistema de controle (CAMPOS; TEIXEIRA, 2006).

2.4.2 Variável Manipulada

A variável manipulada é a grandeza variada pelo controle de modo a afetar a variável controlada (CAMPOS; TEIXEIRA, 2006).

2.4.3 Sinal de Controle ou Referência

O sinal de controle é o sinal de entrada para o controlador, que é interpretado e usado como referência para a saída (BOLTON, 2008).

2.4.4 Controlador

O controlador decide qual ação tomar quando recebe o sinal de controle. O controlador pode ser não programável ou programável e o controle pode ser discreto ou proporcional (BOLTON, 2008).

2.4.5 Unidade de Correção

A unidade de correção produz uma alteração no processo para corrigir ou mudar a condição controlada. O termo atuador é usado para o elemento de uma unidade de correção que fornece energia para executar a ação de controle (BOLTON, 2008).

Na prática, atuadores podem ser de diversas naturezas, como motores, eletroímãs, freios magnéticos e válvulas solenoides para acionamentos hidráulicos ou pneumáticos (ROSÁRIO, 2005).

2.4.6 Dispositivo de Medição

O dispositivo de medição produz o sinal de controle ou referência (BOLTON, 2008).

2.4.7 Elementos Conversores

Os elementos conversores são incluídos aqui por se tratar de um sistema de controle digital, necessitando assim de um conversor analógico-digital (ADC – *analog-to-digital converter*) e de um conversor digital-analógico (DAC – *digital-to-analog converter*) para que o sistema microprocessado possa receber sinais a partir do sistema de medição analógico e suas saídas digitais possam ser convertidas para o formato analógico para acionar o atuador (BOLTON, 2008).

2.4.8 Curva de Resposta

A curva de resposta é a função matemática que descreve a relação entre a variável controlada e a entrada de um sistema de controle, comumente levantada com a medição de valores de referência de ambos os parâmetros e a interpolação destes para obter a função equivalente da planta (GIROD et al, 2001).

2.5 TRANSDUTOR E SENSOR

O termo transdutor é usado para um elemento que produz um sinal relacionado a grandeza medida, ou seja, o transdutor é um elemento que, quando submetido a uma variação física, responde com outra variação associada (BOLTON, 2008). O transdutor, portanto, é um sistema completo que produz uma saída proporcional a saída medida. Já o sensor é apenas a parte sensitiva do transdutor (WERNECK, 1996). Porém, os transdutores são comumente chamados de sensores para indicar que são transdutores de entrada ou captação de sinais (RISTIC, 1994).

Em termos mais práticos, um transdutor, incluindo seu elemento sensor, pode ser definido como “um dispositivo para detecção e sinalização de uma condição de mudança” (ROCKWELL, 1999), ou ainda como um “elemento que proporciona uma interface entre um equipamento eletrônico e o mundo físico” (RISTIC, 1994)

O tipo de variável a ser medida pelo sensor é um dos principais pontos a serem definidos para a escolha do sensor ideal (RISTIC, 1994). Genericamente as variações medidas podem ser classificadas em: térmicas, mecânicas, químicas, magnéticas, radiações, elétricas (RISTIC, 1994).

O alvo de medição do atual projeto se encontra dentro da categoria de variáveis mecânicas, sendo uma medição de posição ou distância. Um sensor de posição ou distância é um dispositivo linear com um sinal de saída que representa a distância até um objeto a partir de um ponto de referência (RISTIC, 1994).

Os sensores podem ser analógicos ou digitais, sendo este último também chamado de sensor discreto. O sensor analógico varia continuamente, apresentando uma variação de amplitude proporcional à amplitude da variável medida (BOLTON, 2008). Já os sensores digitais apresentam valores binários, variando entre zero ou um ou ligado e desligado (WERNECK, 1996).

Os sensores podem ainda ser classificados entre com contato e sem contato. Sensores com contato detectam mudança na variável através de contato físico. São exemplos de sensores de contato: chaves de fim de curso, sensores de pressão por efeito piezoelétrico e potenciômetros (ROCKWELL, 1999).

Já os sensores sem contato efetuam medições sem nenhum tipo de contato físico com a variável medida. Comumente estes sensores criam um campo ou feixe de energia e reagem a distúrbios nesse campo (ROCKWELL, 1999).

O modo mais comum de sensor sem contato para medição de distâncias e deslocamentos é o modo difuso. A medição difusa é definida como um método ativo, onde um feixe é emitido e incide na superfície refletora. O feixe é refletido e detectado. A leitura é feita baseada no tempo entre emissão e detecção, triangulação ou atenuação do sinal. Esta variação é aplicada à função matemática que descreve o princípio físico envolvido, determinando assim o valor de leitura de distância. Comumente o emissor e o receptor estão encapsulados juntos neste tipo de sensor (FRADEN, 2004).

2.5.1 Parâmetros de seleção de sensores

Durante o processo de escolha de um sensor, deve-se levar em conta diversos parâmetros de acordo com a aplicação desejada, como dimensões mecânicas, custo, grau de proteção, tipo de resposta, tensão de alimentação e princípio de funcionamento (ROCKWELL, 1999).

Existem ainda outras características que podem ser usadas como parâmetros de seleção, definidas pelo vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia e descritas a seguir (INMETRO, 2000)

2.5.1.1 Faixa nominal

Faixa nominal é o conjunto de valores compreendidos entre duas indicações extremas arredondadas ou aproximadas (INMETRO, 2000). Segundo Gonçalves (2002), pode também ser chamada de faixa de indicação, sendo o intervalo entre o menor e maior valor que o dispositivo mostrador do sistema de medição teria condições de apresentar como indicação direta.

2.5.1.2 Resolução

Resolução é a menor variação da grandeza medida que causa uma variação perceptível na indicação correspondente (INMETRO, 2000). Nos sistemas com mostradores digitais, a resolução corresponde ao incremento digital, corresponde à

menor variação da indicação direta possível de ser apresentada (GONÇALVES, 2002).

2.5.1.3 Erro de medição

Erro de medição é a diferença entre o valor medido de uma grandeza e um valor de referência (INMETRO, 2000). O erro de medição é composto por parcelas de erro sistemático e aleatório (GONÇALVES, 2002).

O erro sistemático ideal é calculado pela equação 2.1.

$$Es = MI - VVC \quad (2.1)$$

Onde:

Es = erro sistemático

MI = média de infinitas indicações do sistema de medição

VVC = valor verdadeiro convencional

No entanto, sabendo que não é possível obter infinitas medições, a equação 2.1 pode ser modificada para encontrar uma estimativa do erro sistemático obtida a partir de um número finito de medições, chamada de tendência (Td) e calculada conforme a equação 2.2 (GONÇALVES, 2002).

$$Td = MNI - VVC \quad (2.2)$$

Onde:

Td = tendência

MNI = média de N indicações do sistema de medição

VVC = valor verdadeiro convencional

O erro aleatório distribui-se em torno do valor médio das indicações. É possível isolar seu valor individual para uma determinada medição através da equação 2.3 (GONÇALVES, 2002).

$$Eai = Ii - MI \quad (2.3)$$

Onde:

E_{ai} = erro aleatório da i -ésima indicação

l_i = valor da i -ésima indicação individual

MNI = média de N indicações do sistema de medição

2.5.1.4 Precisão de medição

Precisão de medição é o grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas. A precisão de medição é geralmente expressa numericamente por características como o desvio-padrão e é utilizada para definir a repetibilidade de medição (INMETRO, 2000).

2.5.1.5 Repetibilidade de medição

Repetibilidade de medição é a precisão de medição sob um conjunto de condições de repetibilidade, definida como uma condição de medição num conjunto de condições, as quais incluem o mesmo procedimento de medição, os mesmos operadores, o mesmo sistema de medição, as mesmas condições de operação e o mesmo local, assim como medições repetidas no mesmo objeto ou em objetos similares durante um curto período de tempo (INMETRO, 2000).

A repetibilidade de um instrumento de medição expressa uma faixa simétrica de valores dentro da qual, com uma probabilidade estatisticamente definida, se situa o erro aleatório da indicação. Para estimar este parâmetro, é necessário multiplicar o desvio padrão experimental pelo correspondente coeficiente “ t ” de Student, levando em conta a probabilidade de enquadramento desejada e o número de dados envolvidos, conforme a equação 2.4 (GONÇALVES, 2002).

$$Re = \pm t . s \quad (2.4)$$

Onde:

Re = faixa de dispersão dentro da qual se situa o erro aleatório (normalmente para probabilidade de 95%)

t = coeficiente “t” de Student

s = desvio padrão experimental da amostra de N medidas

2.5.1.6 Rejeição de objetos laterais

A rejeição de objetos laterais (*side object rejection*) diz respeito à largura do feixe de medição, que pode variar conforme o princípio de medição e modelo do sensor. Quanto menor a largura do feixe de medição, maior será a rejeição de objetos laterais (MAXBOTIX, 2015).

2.5.2 Tipos de Sensores

Os tipos de sensores para medição de distância mais comuns são listados a seguir, juntamente às suas principais características.

2.5.2.1 Sensor de Ultrassom

Baseado em ondas de ultrassom, que ultrapassam 20kHz de frequência e não podem ser ouvidas por seres humanos, este sensor gera um sinal de ultrassom, que quando refletido por uma superfície retorna para o sensor que recebe esta onda e interpreta sua atenuação (FRADEN, 2004).

Para uma resposta ideal, a superfície alvo deve ser a mais plana possível e estar perpendicular à direção de irradiação da onda, como mostrado nas Figuras 15 e 16. As limitações de ângulos de inclinação e irregularidades na superfície variam conforme o tipo e modelo de sensor (ROCKWELL, 1999).

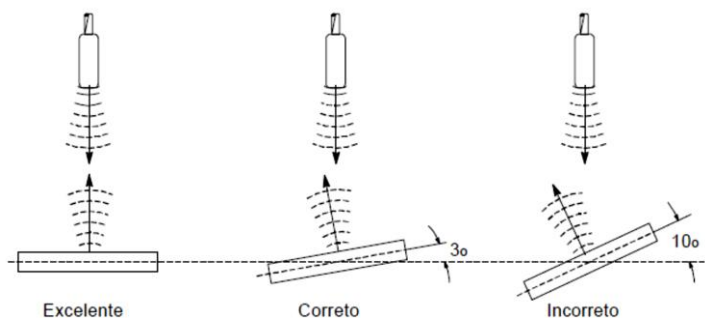


Figura 15 - Alvos planos e perpendiculares proporcionam leituras mais precisas do sensor

Fonte: Rockwell (1999)

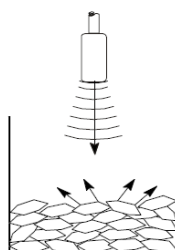


Figura 16 - Alvos irregulares acarretam em uma menor precisão de leitura do sensor

Fonte: Rockwell (1999)

2.5.2.2 Sensor Óptico

Os sensores ópticos são os sensores mais usados para a detecção de posição e deslocamento, principalmente por seu alcance relativamente alto. O funcionamento da maioria dos transdutores deste tipo se dá por meio de uma fonte de luz, um fotodetector e um elemento colimador, como lentes, espelhos ou fibras óticas (FRADEN, 2004). Os fotodetectores podem variar entre fotomultiplicadores, fotodiodos e fotocondutores conforme a frequência de trabalho (JENKINS, 1987). A frequência de emissão da fonte de luz, comumente um LED, é determinada pela aplicação, já que quando o sensor e o ponto de detecção estão submetidos a outras fontes de luz, o comum é utilizar um LED emissor de infravermelho (WERNECK, 1996) ou ainda diodos a laser (ROCKWELL, 1999), já que o fotodetector para cada uma das opções é projetado para não responder a comprimento de ondas diferentes de seu espectro alvo (JERKINS, 1987).

Existem ainda diversos tipos de montagem de um sensor ótico, mas a forma construtiva mais comum para detecção de posição ou distância é chamada de sensor difuso, mostrado na Figura 17. Porém, apesar do grande uso e flexibilidade dos sensores óticos difusos, uma superfície muito irregular, com pouca capacidade reflexiva ou mesmo uma superfície com alta capacidade reflexiva, mas com grande inclinação pode levar a uma baixa precisão na medição (ROCKWELL, 1999).

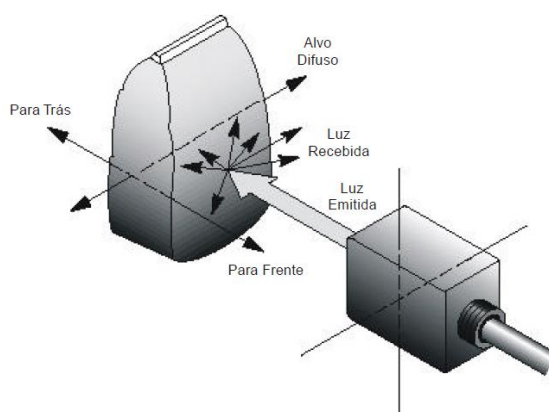


Figura 17 - Detecção Difusa

Fonte: Rockwell (1999)

2.6 MOTOR

O tipo mais comum de atuador rotativo é o motor por acionamento elétrico (BOLTON, 2008). Segundo Gayakwad e Sokoloff (1988), um motor é um transdutor que converte energia elétrica em energia mecânica.

Os motores de indução são baseados nos princípios de indução eletromagnética descobertos por Faraday e Henry (GAYAKWAD e SOKOLOFF, 1988). Motores podem ainda ter seu campo magnético induzido por corrente contínua ou alternada, sendo chamados de motores CA (corrente alternada) e CC (corrente contínua) (ESTADOS UNIDOS, 1980).

Os motores CC comuns costumam ser aplicados quando rotação ou torque contínuos são requeridos, bem como rotações maiores que 360° (BOLTON, 2008).

Em sistemas de controle com rotações menores que 360° é comum o uso de servomotores, pois estes permitem inversão de rotação e controle preciso de velocidade, torque e posição por meio de um circuito de potência relativamente simples (ESTADOS UNIDOS, 1980).

Motores de passo também são amplamente utilizados, tendo características próximas do servomotor, apesar de uma construção diferente, sem escovas nem comutador. A principal diferença do motor de passo é a característica que lhe dá este nome, já que seus movimentos acontecem por incrementos angulares discretos, ou seja, incrementos fixos que variam comumente de 1° a 1.8° . Seu custo muitas vezes é menor que o de um servomotor com características equivalentes (GAYAKWAD e SOKOLOFF, 1988).

A escolha de um motor deve ser realizada visando que a potência e torque sejam disponibilizadas para o funcionamento pleno do sistema, que efetuará a ação de controle do movimento. O motor escolhido também deve trabalhar em condições normais sem gerar aquecimento interno ou aos componentes de controle (CHESTNUT, 1955).

A escolha do motor deve ser feita com cuidado, já que este costuma ser o componente mais pesado, maior e algumas vezes mais caro do sistema (CHESTNUT, 1955).

Portanto, é necessário que o motor seja dimensionado de maneira que o torque seja suficiente para realizar o movimento desejado. No entanto, um super dimensionamento pode acarretar em custos e pesos desnecessários (CHESTNUT, 1955).

Para o dimensionamento do torque em sistemas onde o tempo de movimentação não são relevantes, pode-se utilizar princípios de mecânica vetorial estática, encontrando assim o momento necessário para colocar a estrutura em equilíbrio pela equação 2.5 (BEER et al., 2012).

$$M_O = r \times F \quad (2.5)$$

Onde:

M_O = Momento em relação ao ponto O

r = raio ou distância da força F em relação ao ponto O

F = Força

Sabendo que a equação 2.5 pode ser usada para manter o sistema em equilíbrio, tendo a força F e o raio r é possível chegar ao valor do momento de

equilíbrio. Se um momento maior que o de equilíbrio for aplicado à um sistema, este entrará em movimento (BEER et. al., 2012).

2.6.1 Sistema de Transmissão

Segundo Rosário (2005), para a especificação e a modelagem completas do sistema de acionamento de um dispositivo mecatrônico, devem ser levados em consideração todos os elementos a ele associados, principalmente o bloco de transmissão mecânica, que permite a estabilização da quantidade de movimento do dispositivo por meio da variação de torque e velocidade.

A Figura 18 mostra um esquema genérico de um sistema de transmissão mecânica, onde o movimento é gerado pela fonte de potência e transmitido até a carga, que entra em movimento ao receber uma força maior que sua inércia (ROSÁRIO, 2005).

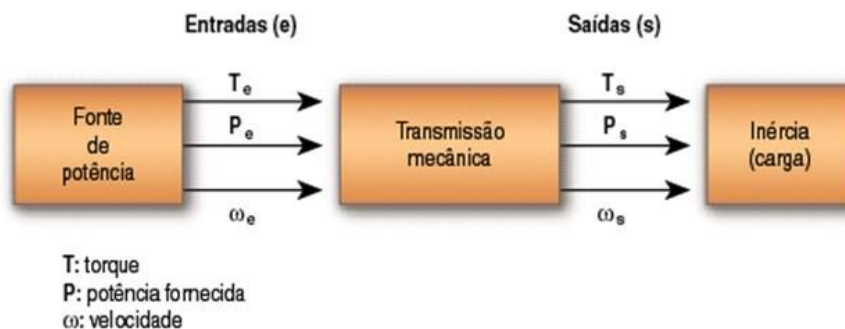


Figura 18 - Princípio de funcionamento de um sistema de transmissão mecânica

Fonte: Rosário (2005)

O sistema de transmissão utilizado no modelo estudado de foco cirúrgico tem como objetivo transformar um movimento rotativo em um movimento de inclinação com o modelo mostrado na Figura 19 (SISMATEC, 2010).

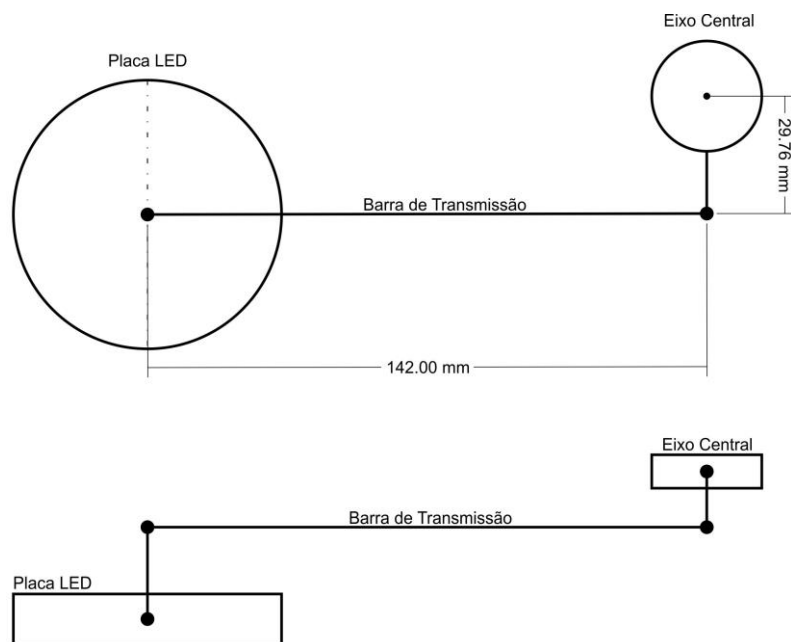


Figura 19 - Modelo de transmissão para ajuste de campo luminoso

Fonte: Sismatec (2010)

A transferência de movimento é feita por meio do giro da manopla e do eixo central (A), que produz um deslocamento linear na barra de transmissão (B), gerando um movimento de rotação da placa LED (C) ao redor do eixo de fixação no corpo da cúpula, como destacado na Figura 20 (SISMATEC, 2010).

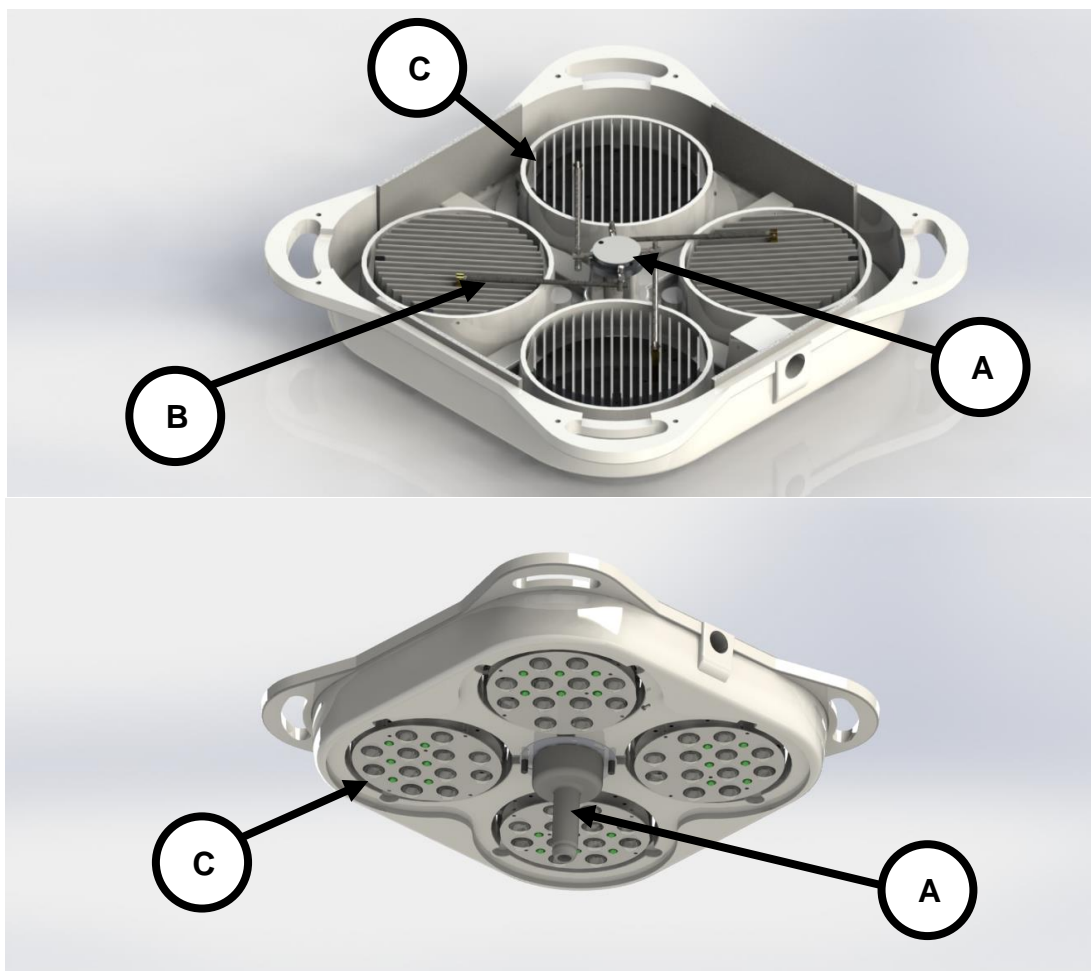


Figura 20 - Elementos do sistema de transmissão do modelo estudado

Fonte: Sismatec (2010)

A relação de transmissão entre o giro da manopla e a inclinação da placa LED é de um grau para um grau, sendo limitada por batentes mecânicos, que permitem o movimento entre 94° e 105° , conforme mostrado na Figura 21.

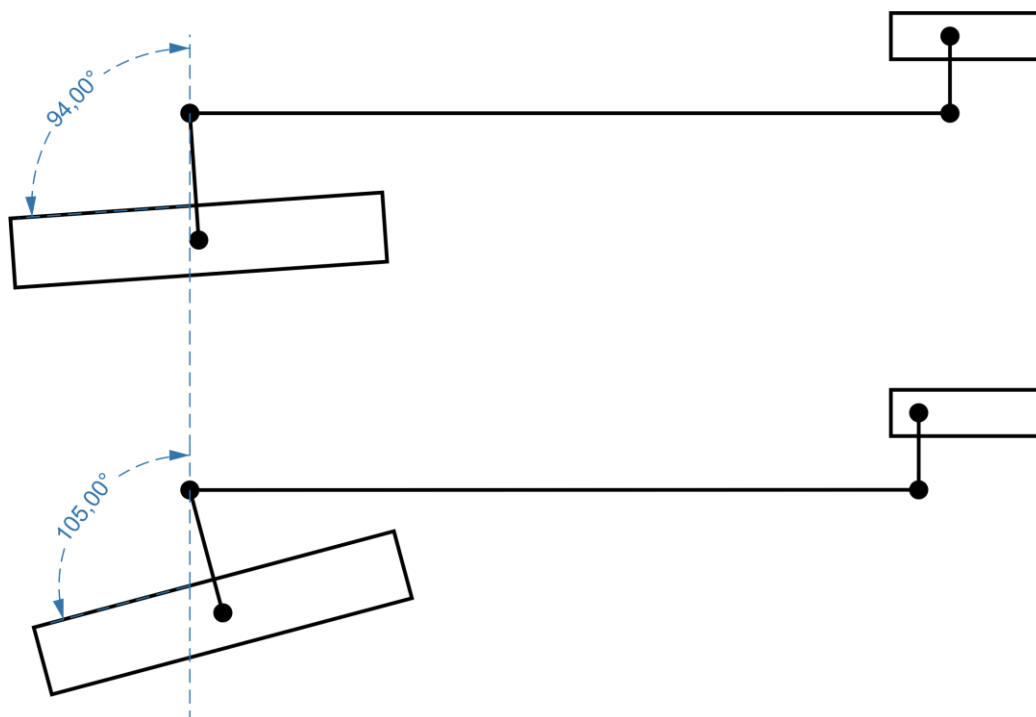


Figura 21 – Limites de inclinação do sistema de transmissão

Fonte: Sismatec (2010)

2.6.2 Circuito de Potência

Eletrônica de potência é a tecnologia associada ao eficiente processamento e controle da energia por meios estáticos, onde uma entrada qualquer é convertida na forma de saída desejada (RIFFEL, 2014).

Um conversor estático pode ser definido como um sistema, constituído por elementos passivos (resistores, capacitores e indutores) e elementos ativos (interruptores), tais como diodos, tiristores, transistores, GTOs, Triacs, IGBTs e MOSFETs, associados conforme regras pré-estabelecidas (BARBI, 2006).

Uma das principais aplicações de um circuito de potência é o acionamento e controle de motores (BARBI, 2006).

O acionamento mais usual para motores de corrente contínua é feito por uma técnica chamada de Modulação por Largura de Pulso, ou *Pulse Width Modulation* (PWM), que diminui perdas de energia e conseqüentemente reduz o aquecimento dos componentes do circuito permitindo a redução de seu custo e tamanho (KENJO, 1991).

O PWM utiliza um chaveamento de tensão em frequências relativamente altas (usualmente da ordem de kHz), que é comumente controlado pelo microcontrolador (KENJO, 1991), que seria ligado a base (pino B) do transistor chaveando a tensão (V_{cc}) como mostrado na Figura 22.

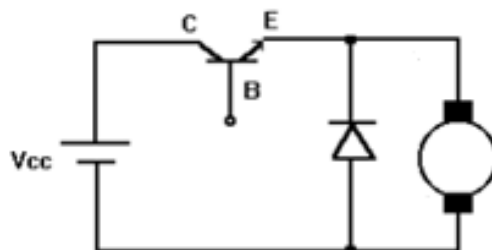


Figura 22 - Circuito com transistor efetuando controle de um motor por PWM

Fonte: Adaptado de Kenjo (1991)

Muitas vezes é necessário efetuar a inversão de direção da rotação de um servomotor. Para realizar esta tarefa, em alguns casos se faz necessário o uso de um circuito conhecido como Ponte-H (*H-Bridge*), mostrado na Figura 23. Alguns servomotores, no entanto, não necessitam desse tipo de controle e por meio de um controlador interno apenas realizam a leitura de cada comprimento de pulso como um ângulo, efetuando a inversão internamente, se necessário (KENJO, 1991).

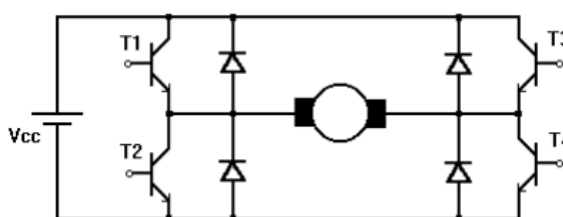


Figura 23 - Circuito ponte-H para servomotor

Fonte: Kenjo (1991)

Já o motor de passo necessita de um controle com transistores, que podem ser NPN e PNP comuns ou MOSFET (*Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor*), fazendo a comutação entre cada bobina do motor sequencialmente. Para inverter a rotação basta inverter a sequência de comutação (MICROCHIP, 2014b). A

Figura 24 representa um modelo de circuito com MOSFETs para controle de um motor de passo, enquanto a Figura 25 mostra um circuito onde os MOSFETs são substituídos por um driver próprio para motor de passo.

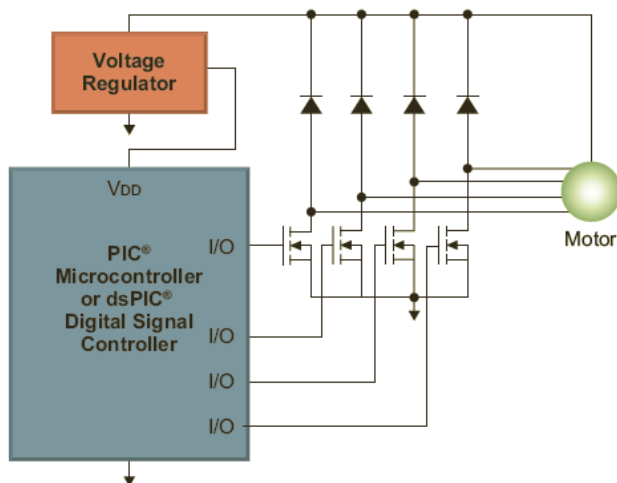


Figura 24 - Circuito com MOSFETs para motor de passo

Fonte: Microchip (2014b)

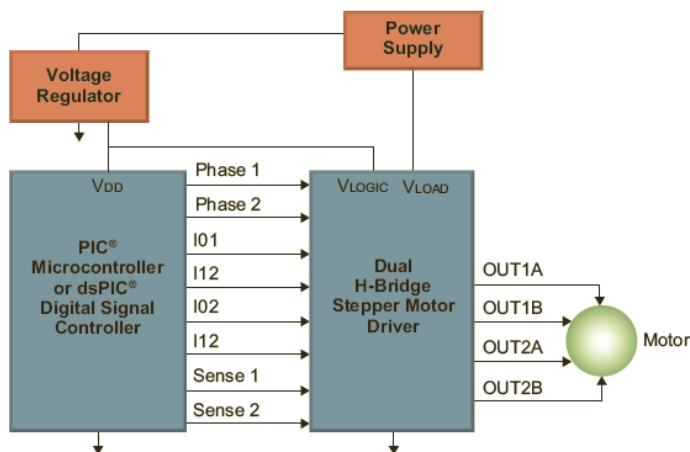


Figura 25 - Circuito com driver para motor de passo

Fonte: Microchip (2014b)

2.6.3 Microcontrolador

Microcontroladores são dispositivos digitais desenvolvidos para supervisionar, gerenciar, monitorar e controlar processos em diversas aplicações (HINTZ e TABAK, 1992).

Um microcontrolador contém uma unidade central de processamento (CPU), memória RAM, memória ROM, interfaces de entradas/saídas (I/O), controladores de acesso direto à memória (DMA), manipuladores de interrupção, temporizadores, entre outros sistemas (HINTZ e TABAK, 1992).

Além de todos os componentes de hardware, para que um microcontrolador desempenhe seu objetivo é necessário que ele seja programado para realizar uma tarefa. A linguagem nativa de microcontroladores é o *assembly*, mas com o avanço da tecnologia e com o seu uso em processos cada vez mais complexos, linguagens de alto nível foram criadas, sendo assim o compilador o responsável por gerar o código *assembly* e gravá-lo na memória do microcontrolador (HINTZ e TABAK, 1992).

Entre os microcontroladores mais usados estão o PIC e o ATmega, tendo grande disponibilidade comercial, arquitetura simples e boas ferramentas de desenvolvimento, como o Microstick e MPLAB da Microchip para PIC (MICROCHIP, 2014a) e o Arduíno para ATmega (BANZI, 2009).

É essencial que a escolha do microcontrolador seja feita levando em conta o número de interfaces I/O, memória e qualquer outro requisito para o pleno funcionamento do sistema, além de apresentar o tempo de resposta adequado para o controle pretendido (GAYAKWAD e SOKOLOFF, 1988).

2.6.4 Interface de usuário

Uma interface de usuário tem como principal função a interação de um homem com um sistema por meio de comunicação (COELHO, 2008).

A interface de um produto, segundo Krippendorf (1990) deve ter características como reconhecimento real e imediato, praticidade e capacidade de autoinstrução para o usuário, eliminando assim a necessidade de treinamentos para operação.

Esta interface pode ser identificada como o meio de interação e comunicação em um sistema homem-máquina, onde homens e máquinas trabalham conjuntamente

para alcançar um fim em comum. Neste tipo de sistema é comum que o homem tenha função de comandar a máquina, enquanto esta desempenha tarefas com velocidade e precisão (COELHO, 2008).

Outro conceito importante é o de usabilidade, definido como a maximização da funcionalidade de um produto na interface com seu usuário (PASCHOARELLI e SILVA, 2006).

A interface de um sistema deve ser desenvolvida levando em conta conceitos básicos de usabilidade para que sua operação possa ser realizada com facilidade na aprendizagem do uso e efetividade no desempenho, tendo em vista que é comum que os usuários do sistema não recebam treinamento específico, mas ainda assim o desenvolvimento correto da tarefa é importante para sua aplicação (PASCHOARELLI e SILVA, 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 SENSOR

Para a escolha do sensor, diversos parâmetros foram levados em conta, como faixa nominal, resolução e repetibilidade, que serão analisadas mais à frente, juntamente com parâmetros como tipo da variável e tipo do alvo de medição.

Além dos parâmetros específicos para a escolha de sensores, outros parâmetros de projeto foram analisados, como as dimensões mecânicas, custo, superfície refletora e fatores ambientais.

A escolha do sensor foi feita por etapas, eliminando ou classificando modelos de acordo com parâmetros. Os parâmetros agrupados na primeira etapa foram chamados de parâmetros primários. Mais duas etapas foram criadas, tendo assim parâmetros secundários e terciários. A descrição de cada etapa e de seus parâmetros é apresentada a seguir:

3.1.1 Parâmetros primários

Os parâmetros primários direcionaram a pesquisa inicial, tendo a função de ser um primeiro filtro para a escolha de tipos e famílias de sensores que possuem princípios de funcionamento, dimensões mecânicas e faixas nominais de medição adequadas à aplicação desejada.

3.1.1.1 Superfície Refletora e Fatores Ambientais

A superfície a refletir o feixe emitido pelo sensor na atual aplicação pode ser a mesa cirúrgica, o paciente operado ou tecidos estéreis, sendo assim uma superfície irregular, de materiais macios e cores diversas. Buscou-se, portanto, sensores que tenham seu princípio de funcionamento independente de uma boa reflexão ótica, detecção de cores, materiais ferromagnéticos, entre outros.

Primeiramente foi necessário delimitar o princípio de reflexão apropriado para a aplicação. Para uma medição de distância o tipo mais comum a ser utilizado é o de

reflexão difusa, não necessitando de um receptor separado (modo oposto) ou de um espelho posicionado no local de reflexão (modo retroreflexivo) (MAZZAROPPI, 2007).

Devido à grande variedade de materiais e cores da superfície refletora para o feixe emitido pelo sensor, diversos tipos de sensores foram descartados após uma breve análise em seus princípios de funcionamento. Alguns dos tipos eliminados são listados a seguir, junto à uma breve justificativa.

- a) Sensor Indutivo: Necessita de uma superfície refletiva ferromagnética;
- b) Sensor Capacitivo: Tem sua resposta em função da constante dielétrica e do tamanho da superfície refletiva.
- c) Sensor fotoelétrico comum: A resposta depende da refletividade do material da superfície refletora, bem como de sua cor.

Já entre os fatores ambientais, destacou-se a presença de um feixe luminoso de até 140 klux na superfície de medição, o que direcionou a pesquisa para sensores que não sofram interferência de feixes de luz, eliminando grande parte dos sensores óticos e fotoelétricos.

Os sensores fotoelétricos baseados no princípio do laser, apesar de não sofrerem influências de luzes externas de baixa intensidade, são suscetíveis a interferências quando a intensidade da luz é muito alta. Os modelos comerciais encontrados com melhor proteção contra interferências têm como valor máximo 100klux.

No entanto, analisando a Figura 26 onde é mostrado o espectro eletromagnético com suas faixas, e a Figura 27 e a Figura 28, que mostram os espectros luminosos dos LEDs utilizados no equipamento, é possível observar que os espectros contêm poucos componentes na faixa de infravermelho (comprimento de onda acima de 700nm).

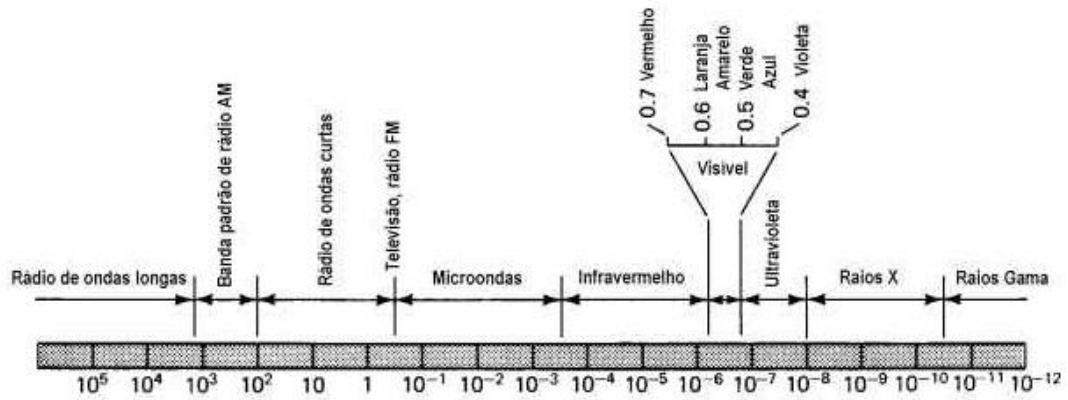


Figura 26 - Espectro eletromagnético

Fonte: Moraes (2002)

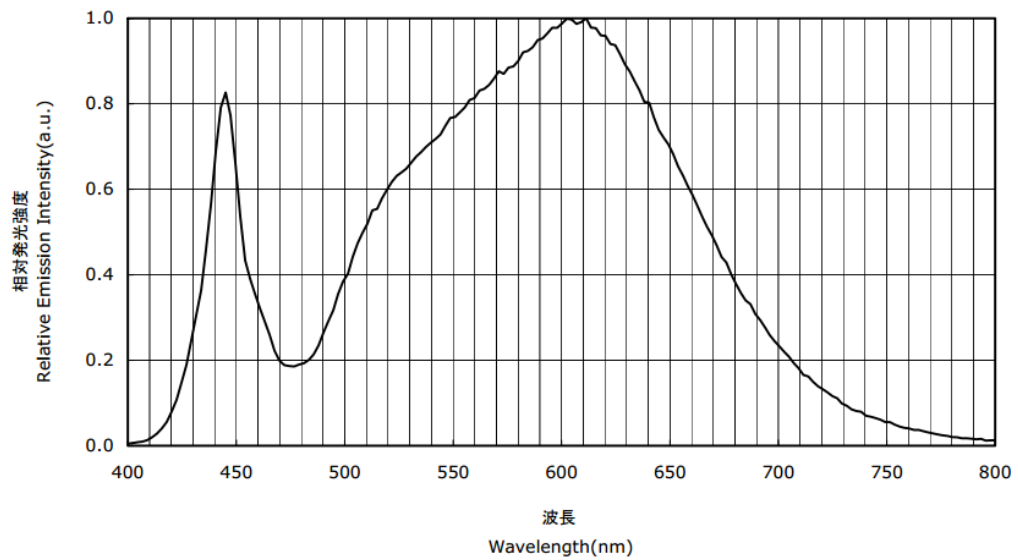


Figura 27 - Espectro do LED NVSL219AT-H3

Fonte: Nichia (2015a)

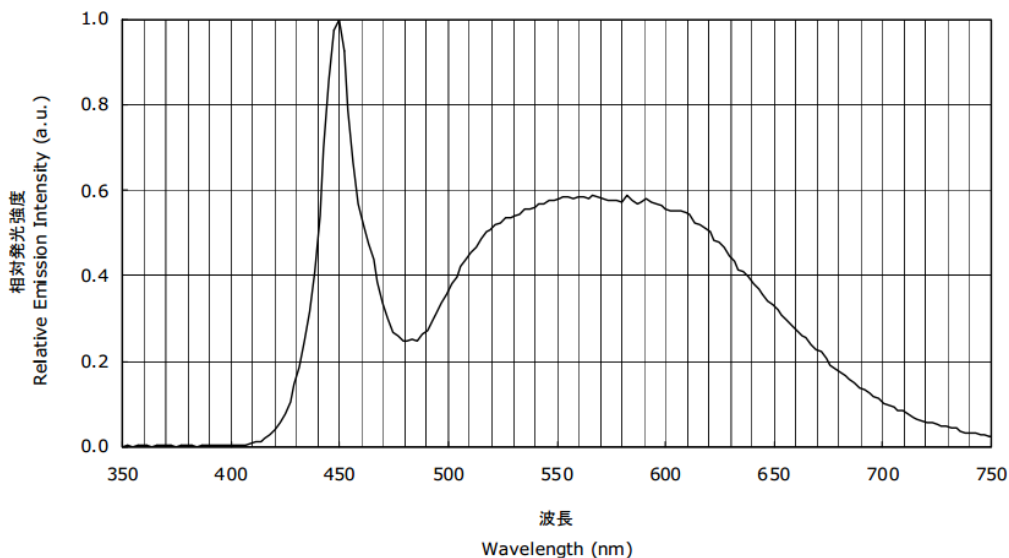


Figura 28 - Espectro do LED NVSW219AT-H3

Fonte: Nichia (2015b)

Portanto, dentro das limitações da superfície refletora e fatores ambientais apresentados, apenas sensores ultrassônicos e infravermelho apresentaram modelos comerciais com possibilidades de atender os requisitos estabelecidos.

3.1.1.2 Dimensões Mecânicas

Para que o acoplamento do sensor pudesse ser feito no equipamento em questão sem a necessidade de alterações de grande porte no conceito do equipamento ou até mesmo prejudicar a operação deste, foi necessário limitar as dimensões mecânicas dos sensores de acordo com os modelos de manoplas já existentes, já que o posicionamento do sensor deve ser no centro do foco cirúrgico, onde a manopla está localizada.

A Figura 29 e a Figura 30 apresentam os modelos de manoplas com a indicação de seus diâmetros internos, por onde o feixe do sensor pode ser emitido, sendo o limite máximo, portanto, de 16 mm para o uso da manopla destacável comum e 31 mm de diâmetro para o uso da manopla destacável M1LEC.

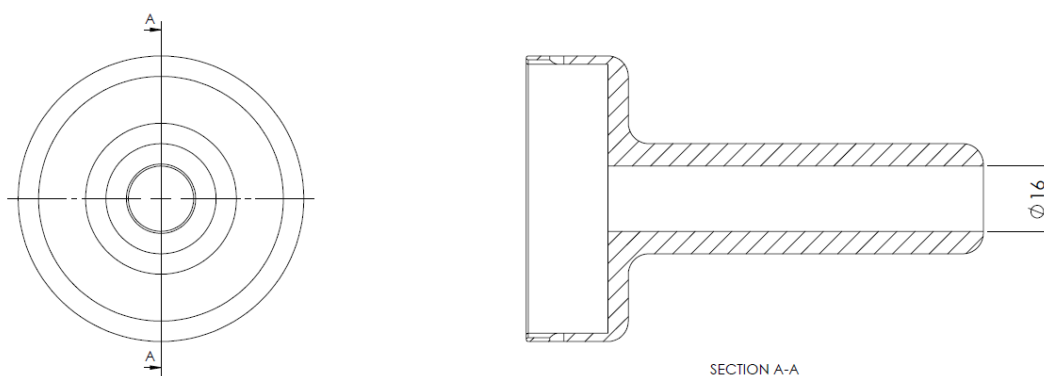


Figura 29 – Manopla destacável comum

Fonte: Sismatec (2010)

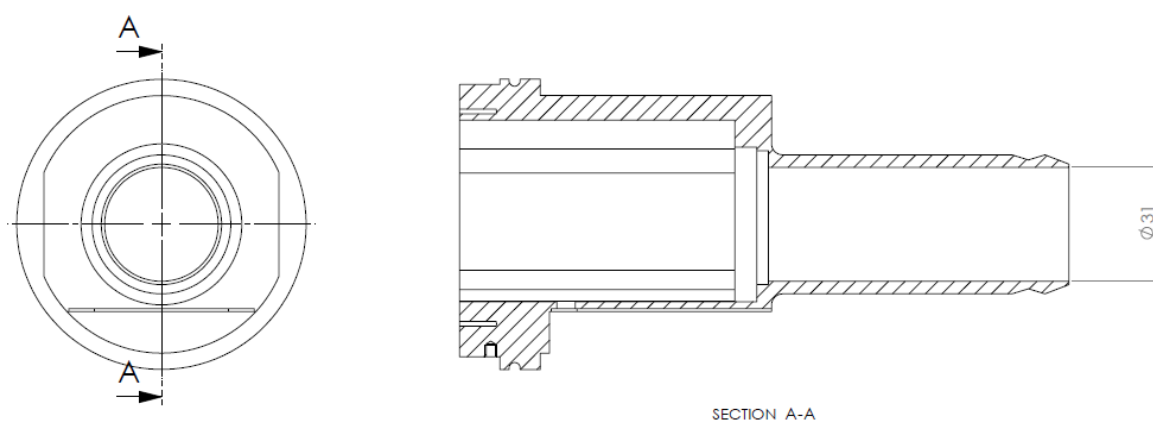


Figura 30 – Manopla destacável M1LEC

Fonte: Sismatec (2010)

3.1.1.3 Faixa nominal

Apenas sensores com a faixa nominal de 500 mm a 1500 mm foram aprovados, tendo em vista que a distância entre a cúpula e a superfície iluminada para fornecer a intensidade de luz nominal é de 1000 mm e considerando que pode haver uma variação de 500 mm para mais ou para menos no posicionamento manual da cúpula.

3.1.2 Parâmetros secundários

Os parâmetros secundários direcionaram a segunda etapa da pesquisa, tendo a função de definição de modelos que apresentaram o melhor custo e a melhor

resolução dentro de tipos e famílias previamente escolhidas. Os modelos selecionados segundo os parâmetros secundários foram adquiridos, testados e comparados.

3.1.2.1 Custo

Tendo em vista que o presente trabalho visa o desenvolvimento de um sistema que pode se tornar um produto posteriormente, foi buscada uma boa relação de custo benefício entre os modelos comerciais que apresentaram concordância com os parâmetros primários.

Diversos sensores foram eliminados por apresentarem custos muito acima de outros de mesmo princípio de funcionamento, faixa nominal e dimensões.

3.1.2.2 Resolução

A resolução foi utilizada como parâmetro de desempate entre modelos que apresentaram conformidade com os parâmetros primários e boa relação custo benefício.

3.1.2.3 Sensores adquiridos

Os modelos adquiridos para testes são apresentados na Tabela 1 junto a seus principais dados.

Tabela 1 – Características dos sensores adquiridos

Modelo	Tipo	Dimensões (mm)	Faixa Nominal (mm)	Resolução (mm)	Custo (USD)
MB1013	Ultrassom	Ø 16	300 a 5.000	5	\$34.95
MB1023	Ultrassom	Ø 16	300 a 5.000	5	\$34.95
GP2Y0A02YK	Infravermelho	29,5x11,9	200 a 1.500	10	\$18,00

Fonte: autoria própria

3.1.3 Parâmetros terciários

Os parâmetros terciários direcionaram a etapa final da pesquisa, tendo a função de definição do modelo de sensor que apresentou o melhor resultado nos testes de erro, precisão e repetibilidade de medição, sendo este o modelo escolhido para o uso no sistema.

3.1.3.1 Erro de medição

Foi buscado o menor erro de medição entre os modelos escolhidos. O erro de medição de cada sensor foi calculado com base nos testes descritos na seção 3.1.3.5. Os cálculos são mostrados na mesma seção.

3.1.3.2 Precisão de medição

O modelo com melhor precisão de medição foi buscado por meio de cálculos baseados em testes na seção 3.1.3.5, utilizando como medida o desvio padrão.

3.1.3.3 Repetibilidade de medição

A repetibilidade de medição foi calculada com base nos resultados de precisão de medição conforme descrito na seção 3.1.3.5, buscando o modelo com a melhor repetibilidade, dentre os adquiridos.

3.1.3.4 Rejeição de objetos laterais

A rejeição de objetos laterais é necessária para que o feixe de medição seja emitido pelo centro da manopla destacável, sem que a borda interna desta influencie na medição, além de garantir que objetos fora do campo iluminado não sejam detectados pelo sensor. O método de teste de rejeição de objetos laterais é descrito na seção 3.1.3.5.

3.1.3.5 Testes

Os parâmetros terciários foram testados conforme descrito a seguir.

A Figura 31 exemplifica o posicionamento do sensor no centro do foco cirúrgico para os testes. Todos os modelos foram posicionados da mesma maneira.

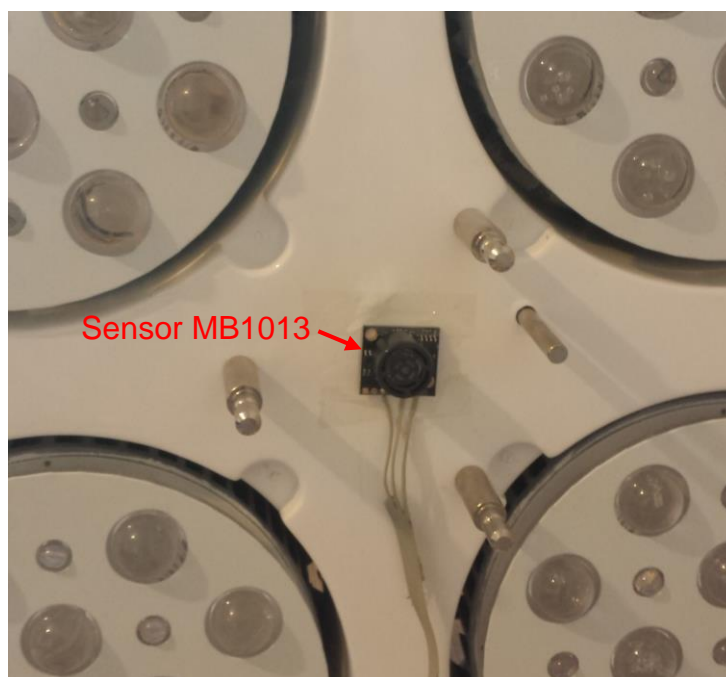


Figura 31 – Exemplo de posicionamento de um sensor no centro do foco cirúrgico para testes

Fonte: autoria própria

Uma trena foi utilizada como instrumento para obter valores de referência, possibilitando a realização dos testes que serviram como base para os cálculos de erro.

A trena foi posicionada conforme mostrado na Figura 32, tendo assim o ponto zero alinhado com o sensor e o ponto de leitura alinhado com a superfície refletiva.

Para realizar os testes, os sensores foram ligados à plataforma de prototipagem eletrônica Arduino Mega2560 e códigos de testes foram elaborados para permitir a leitura do sensor e o envio das leituras para o computador, onde estas foram preparadas, agrupadas e comparadas.

Para todos os sensores foi utilizado o método de leitura analógica, onde o sensor envia uma variação de tensão de 0 a 5Vcc para o pino que contém o conversor ADC do microcontrolador. O valor da leitura da tensão é interpretado como uma variável de 0 a 255 e foi convertida para o valor de distância utilizando uma biblioteca ou função específica para cada sensor.

Foram feitos quinhentos ciclos de leitura de cada valor medido pelo sensor. Portanto, para cada distância, o sensor realizou quinhentas leituras, que foram devidamente convertidas pelo microcontrolador e enviadas por comunicação serial para o computador, onde os quinhentos valores de leitura foram armazenados e analisados.

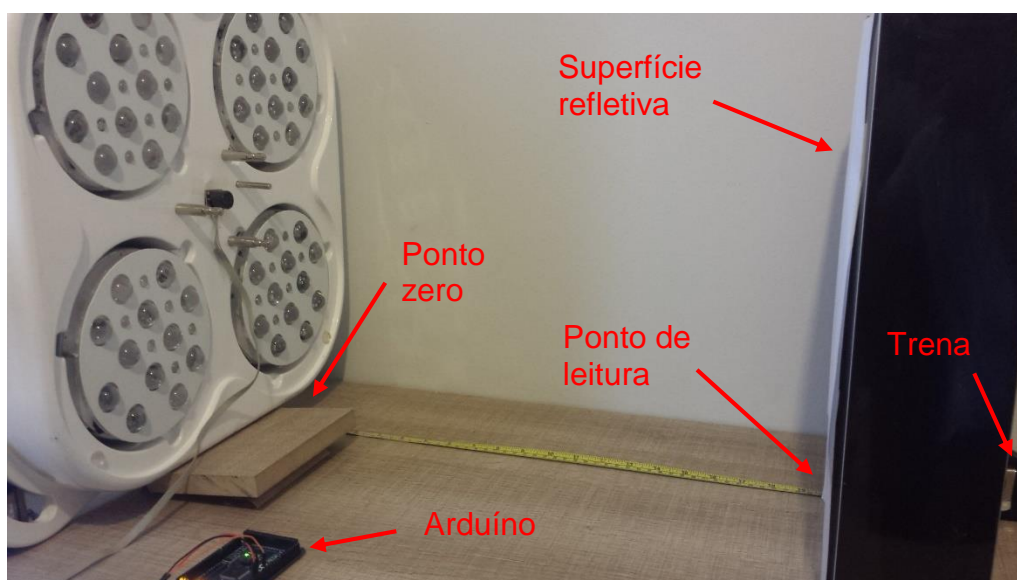


Figura 32 - Posicionamento da trena como instrumento de referência

Fonte: autoria própria

Foram utilizadas as distâncias de 500 mm, 1.000 mm e 1.500 mm para o teste de cada sensor e foram utilizadas as equações 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4, o que permitiu levantar os parâmetros de erro, precisão e repetibilidade de cada sensor.

Cada distância foi testada em duas situações. A primeira, com o foco cirúrgico desligado, apenas com a luz ambiente. A segunda, com o foco cirúrgico ligado, fornecendo aproximadamente 140 klux para a distância de 1 m, como mostrado na Figura 33.



Figura 33 - Medição de distância com o foco cirúrgico ligado

Fonte: autoria própria

Para os testes de rejeição de objetos laterais, mais uma trena foi adicionada perpendicularmente à primeira, na distância de 1 m, como mostrado na Figura 34.

O raio de detecção lateral de cada modelo de sensor foi medido posicionando um objeto gerador de interferência sobre a segunda trena, com uma superfície voltada para o feixe de luz. O objeto utilizado foi uma folha de papel, que foi posicionada perpendicularmente à direção do feixe de luz e do sinal de detecção do sensor, afim de refletir o sinal do sensor.

Assim, foi possível comparar os resultados e selecionar o sensor com o menor raio, equivalente à melhor rejeição de objetos laterais.

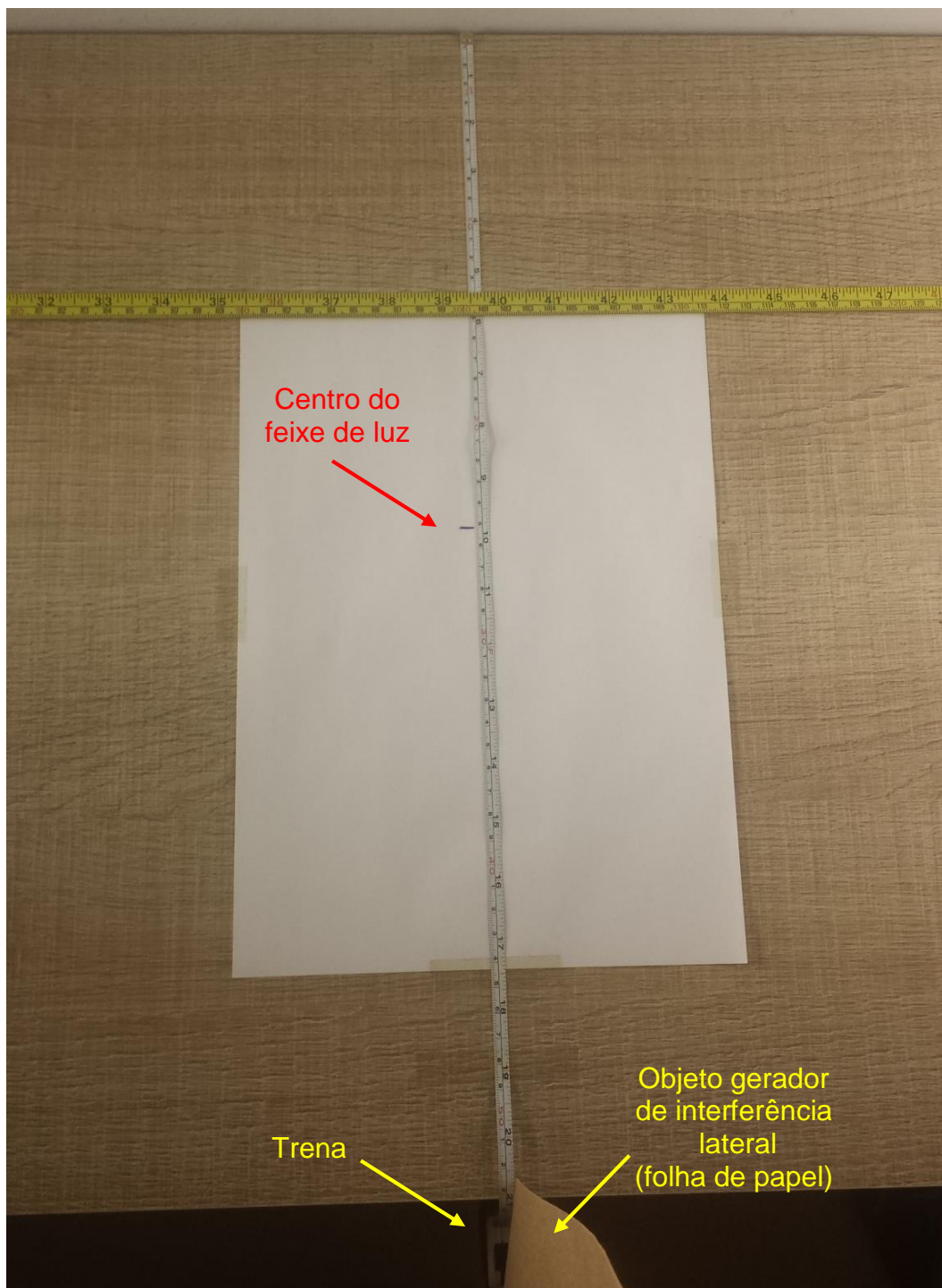


Figura 34 - Medição de raio de detecção lateral

Fonte: autoria própria

Nas seções a seguir, são apresentados os diagramas de ligações entre sensores e o Arduino, bem como os códigos de teste usados para adquirir os valores apresentado na seção 4.1.1.

3.1.3.5.1 Sensor Ultrassônico MB1013

O diagrama simplificado de ligação do sensor MB1013 à plataforma de prototipagem eletrônica Arduino Mega2560 é mostrada na Figura 35.

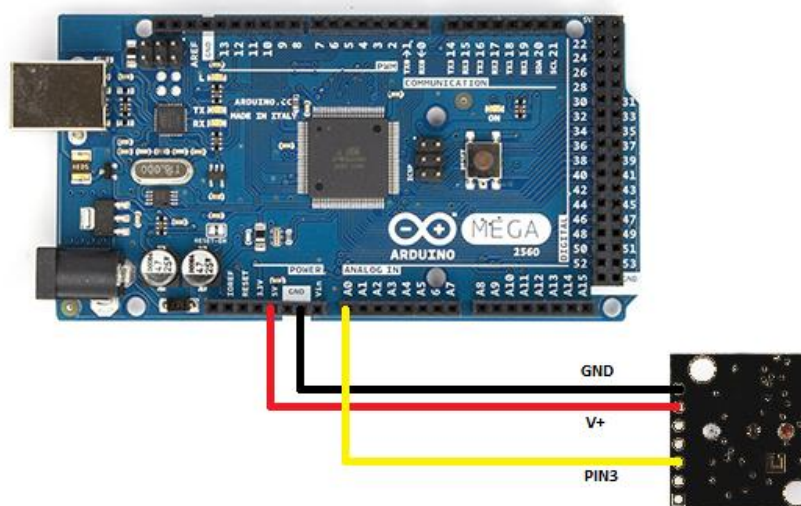


Figura 35 - Diagrama simplificado de ligação entre o sensor MB1013 e o Arduino Mega2560

Fonte: autoria própria

O código para o teste dos sensores MB1013 é apresentado no ANEXO A.

O posicionamento do ponto zero do instrumento de referência (trena) foi realizado conforme indicado na Figura 36.

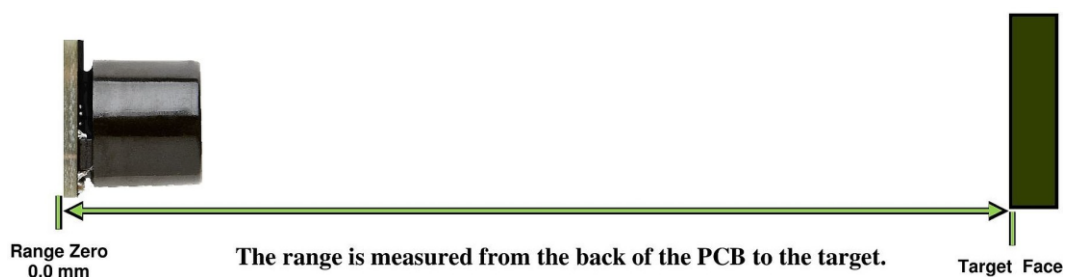


Figura 36 - Ponto zero de medição em relação ao sensor MB1013

Fonte: Maxbotix (2015)

3.1.3.5.2 Sensor Ultrassônico MB1023

Para o sensor MB1023 foi utilizado o mesmo esquema de ligação e código de testes do sensor MB1013.

O posicionamento do ponto zero do instrumento de referência (trena) também foi realizado da mesma maneira que para o sensor MB1013.

3.1.3.5.3 Sensor Infravermelho GP2Y0A02YK

O diagrama simplificado de ligação do sensor GP2Y0A02YK à plataforma de prototipagem eletrônica Arduino Mega2560 é mostrado na Figura 37.

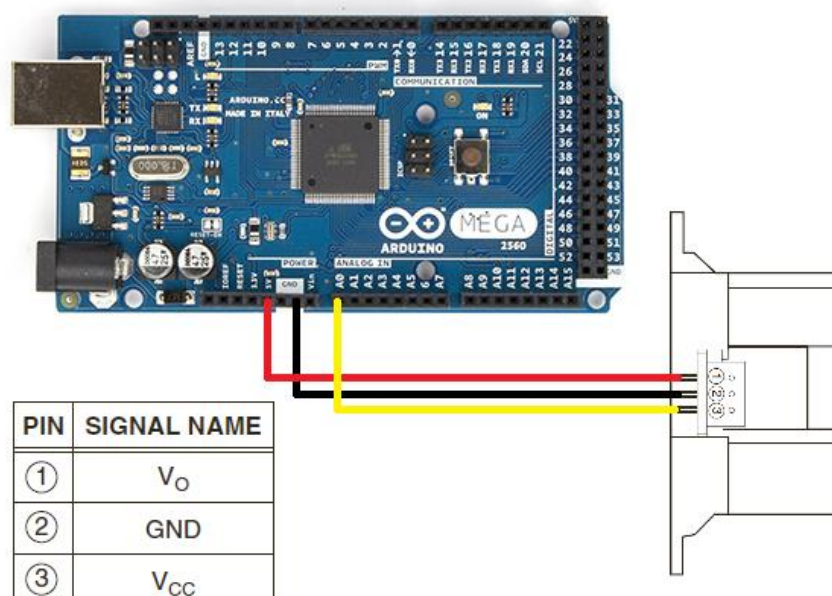


Figura 37 - Diagrama simplificado de ligação entre o sensor GPY0A02YK e o Arduino Mega2560

Fonte: autoria própria

O código para o teste do sensor GP2Y0A02YK é apresentado no ANEXO B.

O posicionamento do ponto zero do instrumento de referência (trena) foi realizado conforme indicado na Figura 38.



Figura 38 - Ponto zero de medição em relação ao sensor GP2Y0A02YK

Fonte: autoria própria

A superfície refletora (folha de papel de sulfite branco) foi posicionada a 500 mm, 1.000 mm e 1.500 mm para o teste de cada sensor, sendo a distância conferida por uma trena, que desempenhou a função de instrumento de referência.

3.2 MOTOR E SISTEMA DE TRANSMISSÃO

O processo de escolha do motor foi dividido em etapas onde os parâmetros de torque, circuito de acionamento, tipo de acoplamento, custo e dimensão mecânica foram levados em consideração, tendo apenas um modelo selecionado para o uso no sistema.

3.2.1 Torque

O sistema em questão foi projetado para mover as quatro placas LED com um motor localizado no eixo central. Para o dimensionamento do torque necessário foram utilizados conceitos de mecânica vetorial estática para o cálculo de momento.

O modelo simplificado do sistema de transmissão é representado na Figura 39.

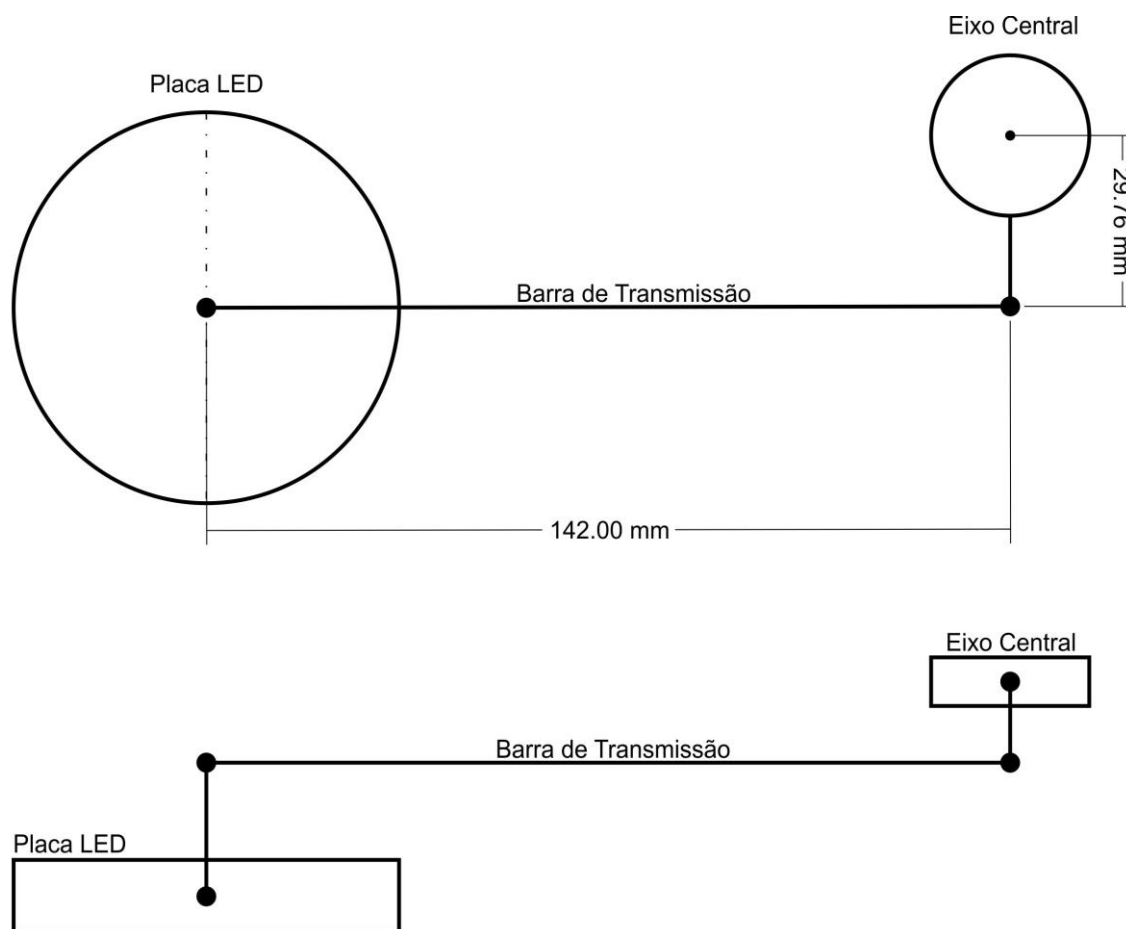


Figura 39 - Modelagem simplificada do sistema de transmissão

Fonte: Sismatec (2010)

Com base nos movimentos observados no sistema e na modelagem simplificada deste, é possível identificar os principais esforços envolvidos na movimentação do conjunto, apresentados na Figura 40.

A força F e sua força resultante FR são iguais quando o sistema está em equilíbrio. No entanto, quando a força F é maior que a resultante, o sistema é colocado em movimento.

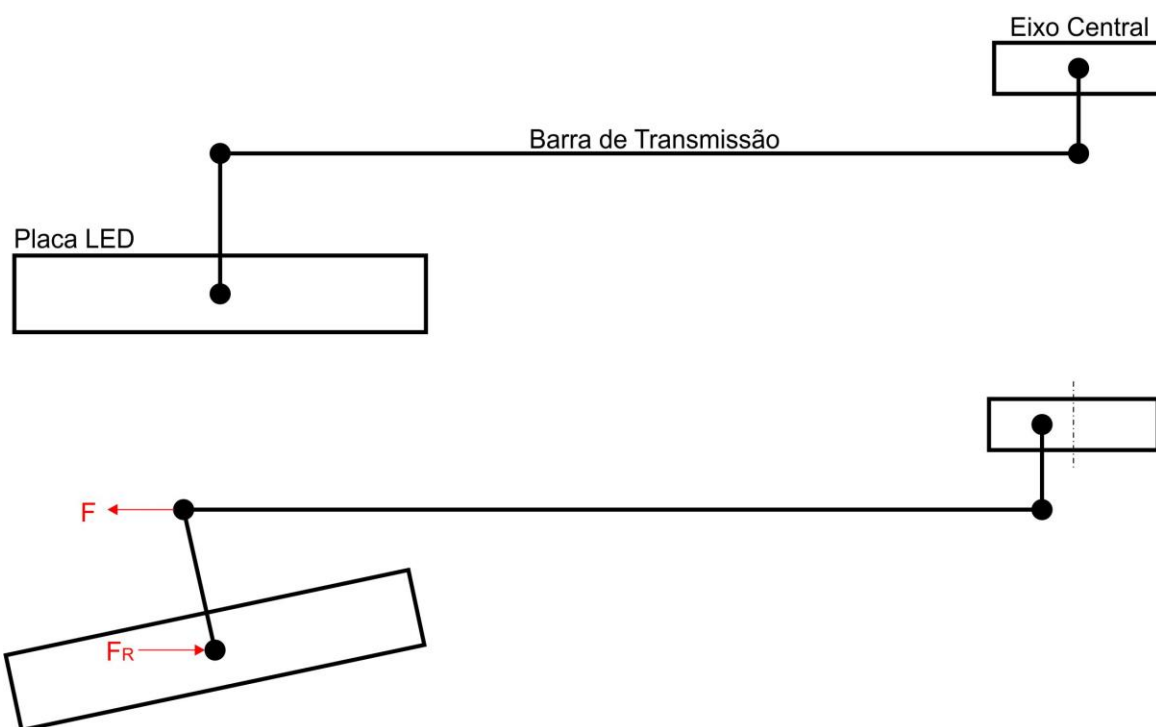
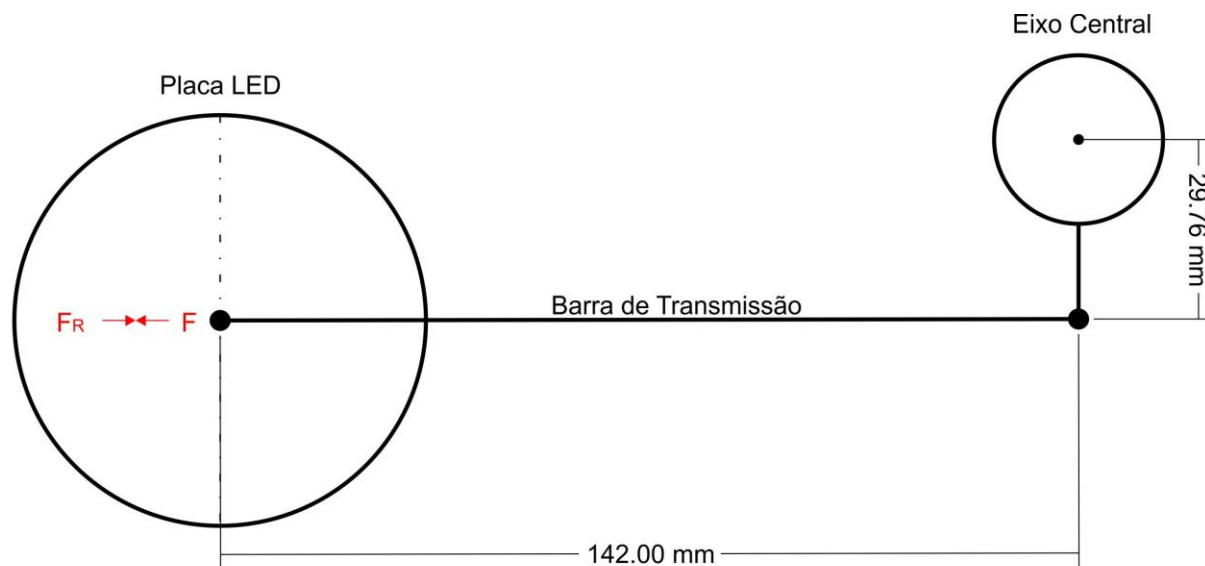


Figura 40 - Principais esforços no sistema de transmissão

Fonte: adaptado de Sismatec (2010)

A força F pode, no entanto, ser substituída por um momento aplicado no eixo central, como mostrado na Figura 41.

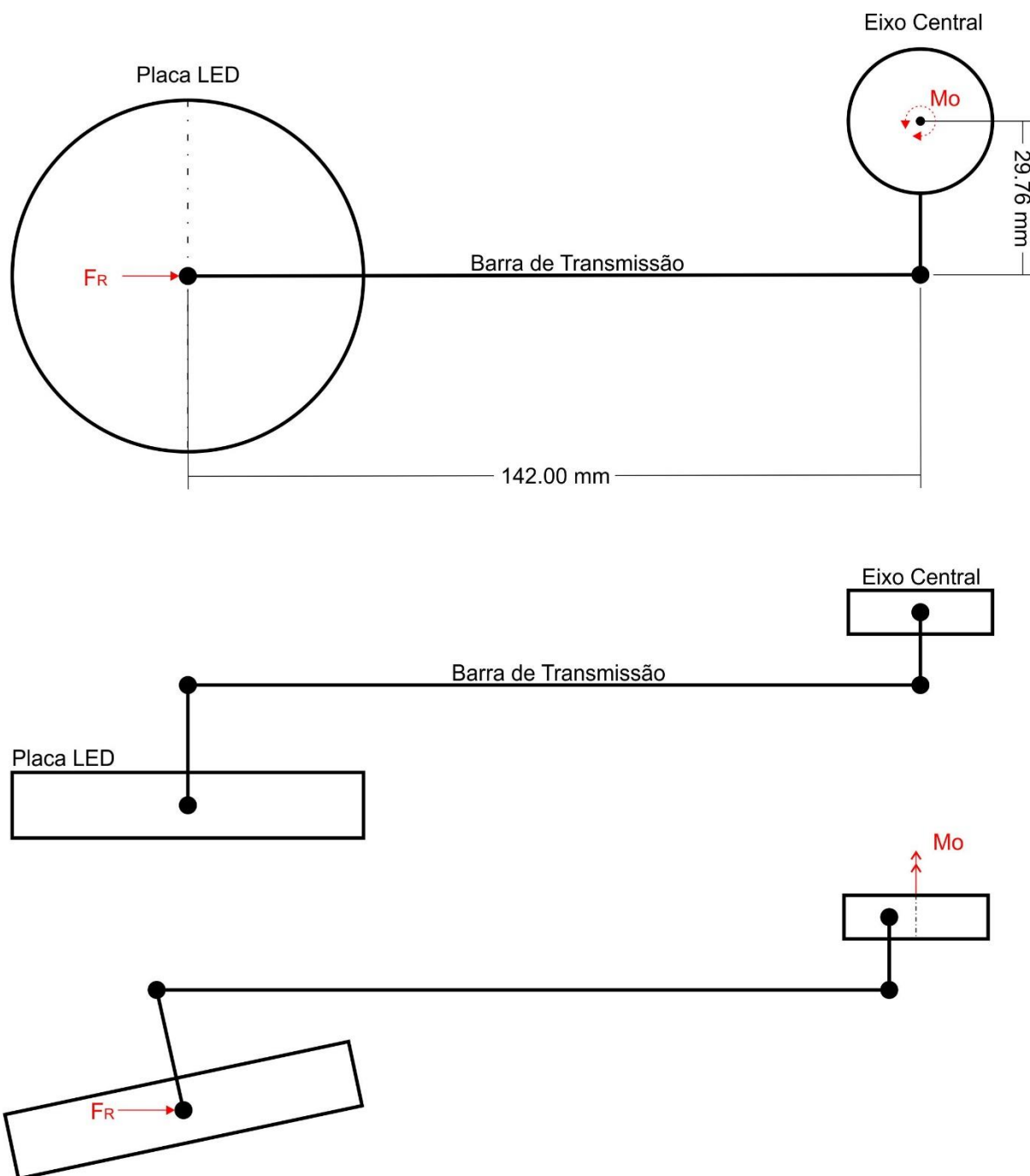


Figura 41 - Sistema com momento aplicado ao eixo central

Fonte: adaptado de Sismatec (2010)

Sabendo que a placa LED junto ao dissipador, lente colimadora e elementos de fixação pesa 1217g e que o eixo de rotação está localizado no centro de gravidade do conjunto, pode-se concluir que a força resultante F_R deve ser de 1,217kgf.

Tendo a distância r entre o eixo da força e o ponto O no eixo central de 2,976cm, é possível utilizar a equação 2.5.

$$M_O = r \times F$$

$$M_O = 2,976 \times 1,217$$

$$M_O = 3,621 \text{ kgf.cm}$$

Portanto, o torque necessário para mover uma placa LED no sistema apresentado é de 3,621kgf.cm.

No entanto, para o funcionamento completo do sistema é necessário mover 4 placas LED simultaneamente. Para tanto, assumindo que todas as cargas possuem o mesmo peso e a mesma distância, é possível obter o torque total multiplicando o torque pelo número de cargas.

$$M_T = M_O \times N_{Placas}$$

$$M_T = 3,621 \times 4$$

$$M_T = 14,487 \text{ kgf.cm}$$

Foi possível concluir que para iniciar um movimento no sistema indicado é necessário aplicar um torque maior do que 14,487kgf.cm. Baseado na modelagem simplificada e nos cálculos apresentados, foram buscados motores de pelo menos 15kgf.cm para este sistema.

3.2.2 Circuito de acionamento

Para torques equivalentes, motores de diferentes princípios de funcionamento apresentaram diferentes circuitos de acionamento.

Foi verificado que os motores de passo para 15kgf.cm de torque possuem circuitos de acionamento complexos, necessitando de transistores do tipo MOSFET, diodos e tensões entre 12Vcc e 24Vcc, que devem ser obtidas utilizando reguladores de tensão lineares ou outros tipos de circuitos reguladores mais complexos, além de componentes passivos. Em alguns casos o circuito pode ser substituído por uma placa de driver pronta, que apresenta grandes dimensões e custos.

No entanto, foi possível verificar que servomotores com o mesmo torque podem trabalhar em tensões de 4.8Vcc a 7Vcc, necessitando apenas de um regulador de

tensão linear e componentes passivos, já que a maior parte destes já possui um circuito interno para inversão do sentido de rotação e interpretação do sinal PWM.

Portanto, tendo em vista a complexidade do circuito de acionamento, e em decorrência desta, o custo e dimensão do mesmo, a pesquisa foi direcionada para servomotores com circuitos internos de interpretação de sinal PWM e inversão do sentido de rotação.

3.2.3 Dimensões Mecânicas

Para que o acoplamento do motor possa ser feito no equipamento em questão sem a necessidade de alterações de grande porte no conceito do equipamento, foi necessário limitar as dimensões mecânicas dos motores de acordo com o espaço disponível dentro da cúpula.

A Figura 42 e a Figura 43 apresentam vistas de seção da cúpula, onde é possível verificar as dimensões máximas para que o motor seja acoplado no equipamento. A altura máxima é de 44 mm devido a distância entre o eixo de transmissão e a tampa da cúpula. A largura e o comprimento máximos do sensor devem ser de, respectivamente, 75 mm e 110 mm, para evitar interferência na montagem de outros itens e passagem de cabos.

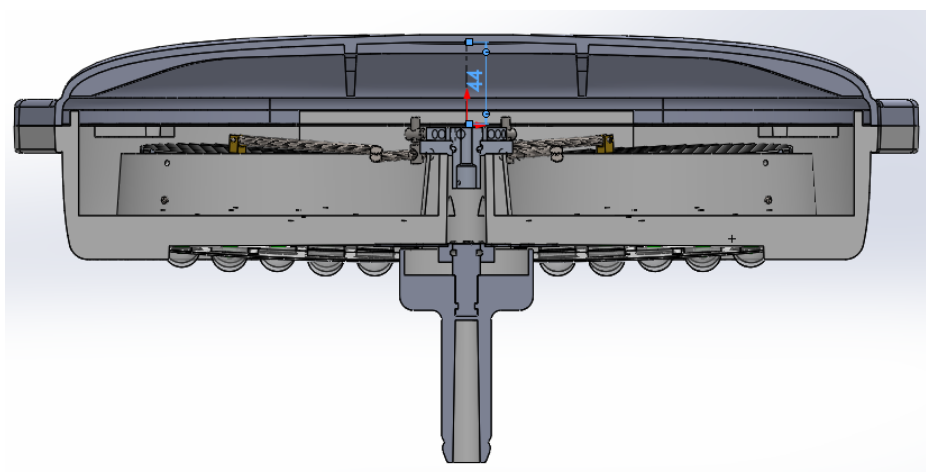


Figura 42 - Altura máxima de 44 mm para motor

Fonte: Adaptado de Sismatec (2010)

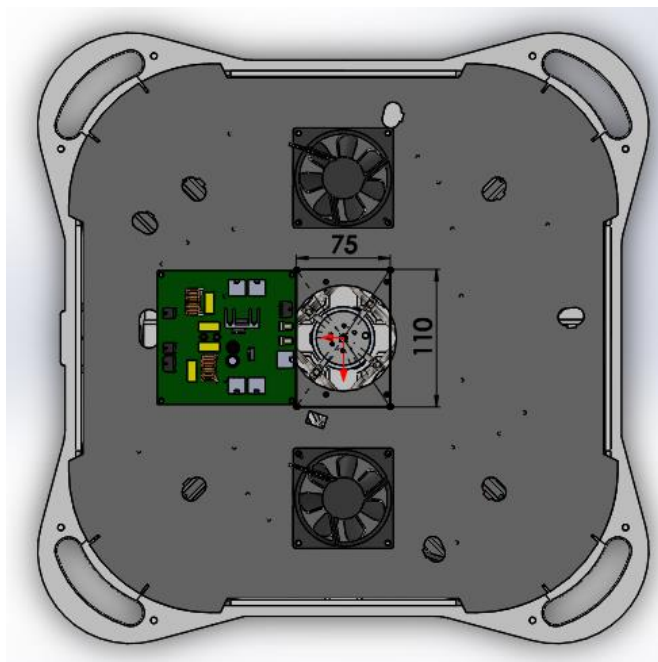


Figura 43 - Largura e comprimento máximos de 75 x 100 mm para o motor

Fonte: Adaptado de Sismatec (2010)

Os motores com dimensões acima dos limites determinados para a montagem foram excluídos da pesquisa, eliminando alguns servomotores, mesmo que estes atendessem a outros parâmetros.

3.2.4 Custo

A análise de custo para a escolha do motor utilizou os mesmos critérios descritos na seção 3.1.2.1. Portanto, diversos motores foram eliminados por apresentarem custos muito acima de outros de mesmo princípio de funcionamento, torque, dimensões e acoplamento.

3.2.5 Motor Adquirido

O modelo adquirido para testes é apresentado na Tabela 2 junto a seus principais dados.

Tabela 2 - Características do motor comprado

Modelo	Tipo	Engrenagens	Dimensões (mm)	Torque (kgf.cm)	Custo (BRL)
1501MG	Servomotor	Alumínio 6061-T6	40.7x20,5x39,5	17 (6v)	R\$ 89,95

Fonte: autoria própria

3.2.6 Acoplamento

O acoplamento do motor 1501MG foi desenvolvido visando a menor interferência possível no sistema de transmissão já existente e aproveitando os acessórios presentes no conjunto fornecido junto ao motor.

O acessório de acoplamento mostrado na Figura 44 foi utilizado para a fixação do motor no eixo central de transmissão.



Figura 44 - Acessório de fixação do motor 1501MG

Fonte: POWER HD (2015)

O eixo central de transmissão foi modificado como mostrado no ANEXO C para receber o acessório de acoplamento.

Para a fixação do motor na estrutura fixa do foco cirúrgico, um suporte foi desenvolvido, conforme mostrado no ANEXO D, ANEXO E e ANEXO F.

A chapa de fixação interna foi modificada conforme mostrada no ANEXO G para receber o suporte do motor.

A Figura 45 mostra o sistema montado, com espaçadores e parafusos que permitem uma maior facilidade na montagem e desmontagem do sistema.

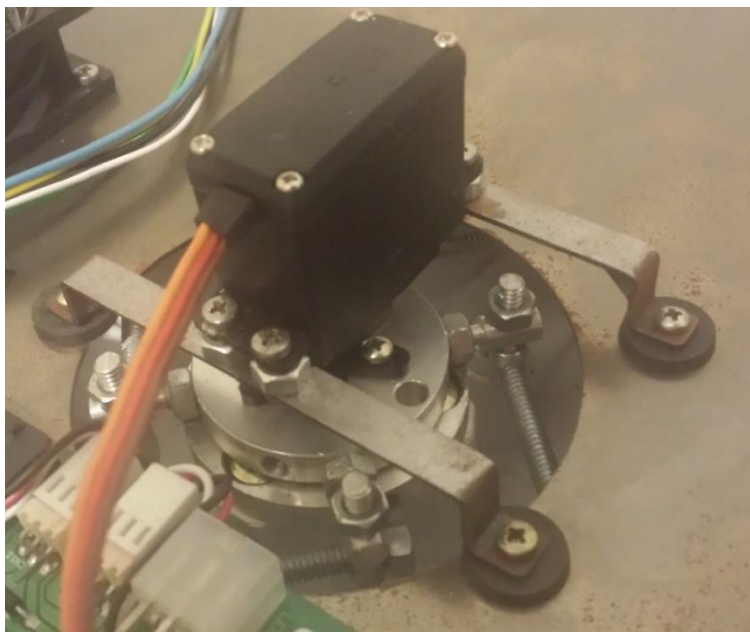


Figura 45 – Montagem do sistema motor

Fonte: autoria própria

3.2.7 Testes

Para verificar o funcionamento do motor junto ao sistema de acoplamento e transmissão, o sistema foi montado conforme mostrado anteriormente.

O circuito de acionamento foi montado conforme a Figura 46, visando alcançar o torque de 17kgf.cm indicado para 6Vcc de alimentação.

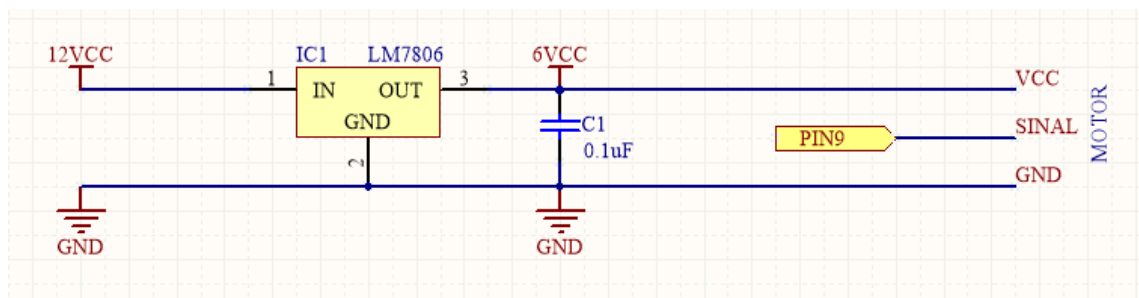


Figura 46 - Esquema de ligação do motor

Fonte: autoria própria

O sistema foi testado com o uso da plataforma de prototipagem eletrônica Arduino Mega2560 com o código apresentado no ANEXO H.

Foi possível verificar que para incrementos de um grau com o intervalo de um segundo, o motor não apresentou o torque inicial necessário para movimentar a carga.

Para que o funcionamento do sistema se tornasse satisfatório, o capacitor C2 foi inserido no circuito, como mostrado na Figura 47.

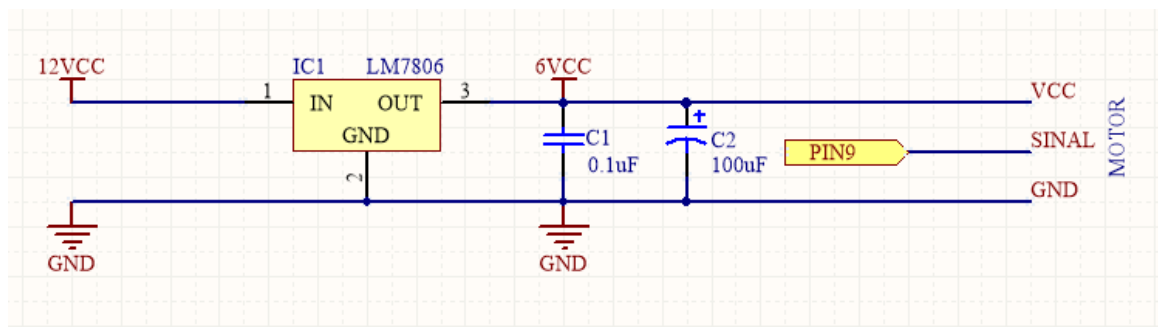


Figura 47 - Esquema de ligação do motor com capacitor C2

Fonte: autoria própria

Verificou-se também o aquecimento do componente LM7806 (IC1 da Figura 47) além da faixa de temperatura indicada pelo fabricante durante os testes.

Para garantir que o IC1 opere dentro da faixa de temperatura recomendada pelo fabricante, um dissipador de alumínio foi acoplado a este, melhorando a dissipação térmica do componente.

3.3 INTERFACE DE OPERAÇÃO

A interface existente no foco cirúrgico apresentada na Figura 48 é composta por uma placa eletrônica com botões com retorno por mola, chamados também de botões tácteis ou *push buttons*. Os botões são protegidos por uma membrana, que também faz a identificação da função de cada botão. LEDs sinalizadores indicam o estado de cada variável controlada por meio dos botões.

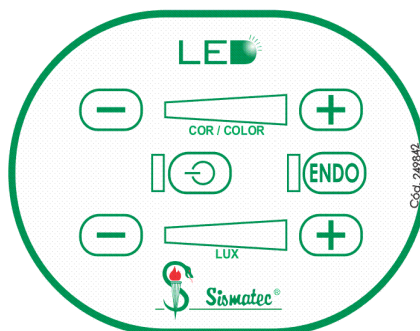


Figura 48 - Membrana adesiva da placa dimmer

Fonte: Sismatec (2010)

O sistema desenvolvido neste trabalho, porém, exigiu a inclusão de novos botões e indicadores para a operação da função de ajuste do campo luminoso.

Os novos botões e indicadores são mostrados na Figura 49 e tem suas funções descritas a seguir.

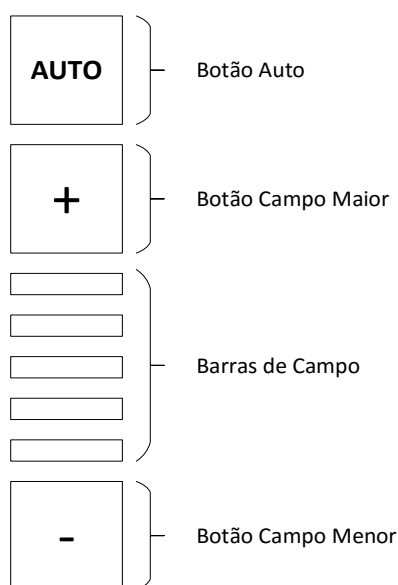


Figura 49 - Botões de operação da função de ajuste de foco

Fonte: autoria própria

- Botão Auto: Liga/Desliga o modo de ajuste de campo luminoso automático.
- Botão Campo Maior: Aumenta o tamanho do campo luminoso.
- Botão Campo Menor: Diminui o tamanho do campo luminoso.
- Barras de Campo: Indicam o tamanho do campo em cinco níveis do menor ao maior.

Para a inclusão destes botões, a placa eletrônica com botões tácteis poderia ser ampliada, incluindo os botões e indicadores necessários para a nova função. No entanto, visando tornar a interface mais flexível para futuras alterações e acompanhar as tendências tecnológicas atuais, foi adotado como solução o uso de uma tela sensível ao toque (*touch screen*), onde tanto os botões e indicadores já existentes no equipamento quanto os botões e indicadores da nova função de ajuste de campo luminoso foram incluídos.

A interface de operação foi desenvolvida com base na tela sensível ao toque de 3.2" e resolução de 320 x 240 *pixels*. A tela sensível ao toque faz parte do módulo TFT320QVT, que inclui um microcontrolador SSD1289, memória interna e um receptor de cartões SD.

A conexão do módulo TFT320QVT para testes foi baseada na indicação do fabricante, mostrada no ANEXO I e no ANEXO J.

A placa de testes é mostrada na Figura 50.

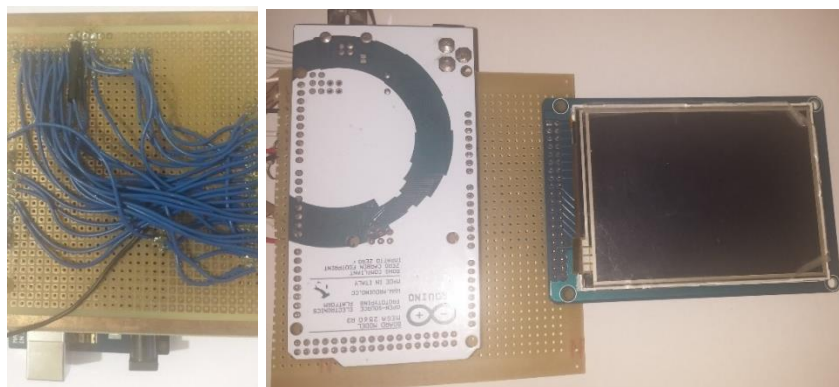


Figura 50 - Placa de testes do módulo TFT320QVT

Fonte: autoria própria

O código de testes fornecido pelo fabricante, apresentado no ANEXO K, foi utilizado para verificar o funcionamento do módulo TFT320QVT.

Para a criação da interface, o código foi desenvolvido de acordo com a biblioteca disponibilizada pelo fabricante, o que tornou o processo de desenvolvimento de *software* mais ágil.

3.4 INTEGRAÇÃO DO SISTEMA

A integração das principais partes citadas anteriormente, sensor, motor e interface de operação, foi desenvolvida com a modelagem do sistema de controle e *firmware* de controle, além de conexões e *hardwares*.

3.4.1 Sistema de Controle

O sistema de controle desenvolvido para a aplicação foi desenvolvido em malha aberta, tendo em vista que o processo controlado não requer um alto grau de precisão, apesar de exigir uma boa confiabilidade.

3.4.1.1 Variável Controlada ou Elemento de Processo

No sistema proposto a variável controlada é o ângulo de inclinação das placas de LEDs.

3.4.1.2 Variável Manipulada

Na atual aplicação a variável manipulada é o sinal de PWM enviado ao servomotor.

3.4.1.3 Sinal de Controle ou Referência

O sinal de controle é o sinal do sensor, que será interpretado pelo microcontrolador.

3.4.1.4 Controlador

O controlador do sistema é o microcontrolador ATmega2560 que tem a função de um controlador programável de sinal discreto no tempo, alterando o sinal de PWM enviado ao servomotor (variável manipulada).

3.4.1.5 Unidade de Correção

A unidade de correção do sistema é o servomotor, que executará a função de atuador, corrigindo o ângulo de inclinação das placas de LEDs (variável controlada).

3.4.1.6 Elemento de Medição

No presente trabalho o sensor de distância é o elemento de medição, responsável por ler a distância entre o equipamento e a superfície iluminada, obtendo assim o sinal de controle.

3.4.1.7 Elementos Conversores

No presente sistema os elementos conversores estão embarcados no microcontrolador com saída PWM e tem o papel do DAC, enquanto o microcontrolador e sua entrada analógica desempenham a função do ADC.

3.4.1.8 Curva de resposta

Para obter a curva de resposta do sistema, foi necessário executar testes com o motor e sensor montados. A plataforma de prototipagem eletrônica Arduino Mega2560 foi utilizada para receber as medições do sensor e enviar o sinal de controle para o servomotor.

O ambiente de testes foi montado da mesma maneira que para o teste de sensores.

Um luxímetro calibrado foi utilizado para determinar em qual ângulo do motor os LEDs apresentaram a maior iluminância na superfície em distâncias de 500 mm a 1.500 mm, com intervalos de 50 mm.

Tendo assim a relação entre valor de leitura do sensor, ângulo do motor e iluminância, foi possível obter a função que descreve a relação entre distância e inclinação das placas LED. Os valores de medição, ângulo e iluminância são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Ângulos com iluminâncias máximas

Distância d [mm]	Ângulo α [°]	Iluminância Máxima [klux]
500	105,0	200,0
550	105,0	200,0
600	105,0	200,0
650	103,0	181,3
700	101,0	162,6
750	100,0	147,5
800	99,0	132,4
850	98,5	126,2
900	98,0	119,9
950	97,5	104,9
1.000	97,0	89,8
1.050	96,5	81,2
1.100	96,0	72,5
1.150	95,5	68,1
1.200	95,0	63,6
1.250	95,0	59,8
1.300	95,0	56,0
1.350	93,5	52,2
1.400	93,0	48,4
1.450	93,0	45,5
1.500	93,0	42,5

Fonte: autoria própria

Sabendo que o valor de entrada será o valor da distância em milímetros lido pelo sensor (d), e o valor de saída será o ângulo de inclinação das placas de LEDs (α), é possível planejar a interpolação dos valores, considerando-se a função $f : d \rightarrow \alpha$.

O domínio da função planejada pode ser definido pela faixa nominal do sensor, que é qualquer número real entre 300 e 5000 conforme a Tabela 1. Assim, o domínio onde os valores possíveis de d se encontram, pode ser chamado de D e definido por:

$$D = \{d \in \mathbb{R} \mid 300 \leq d \leq 5000\}$$

Já o contradomínio, é definido pelo limite mecânico de inclinação das placas LED, que é qualquer número real entre 94 e 105, conforme descrito na seção 2.6.1.

Portanto, o contradomínio onde os valores de α estão contidos, pode ser chamado de A e é definido por:

$$A = \{\alpha \in \mathbb{R} \mid 94 \leq \alpha \leq 105\}$$

Portanto, a definição completa da função desejada pode ser escrita como:

$$f : D \rightarrow A : d \rightarrow \alpha$$

No entanto, em uma breve análise dos valores apresentados, é possível verificar que a função não apresenta linearidade, portanto necessitando de uma interpolação de Lagrange. Ainda assim, esta teria como resultado uma função de grau muito elevado, o que tornaria o cálculo muito complexo.

Com o intuito de simplificar o cálculo do ângulo conforme o valor lido pelo sensor, a curva de resposta foi dividida em sete partes e uma interpolação linear foi feita para cada uma delas, descritas a seguir:

$$\alpha = \begin{cases} 105, & d \leq 600 \\ \frac{d - 3225}{25} \times (-1), & 600 < d \leq 700 \\ \frac{d - 5750}{50} \times (-1), & 700 < d \leq 800 \\ \frac{d - 10700}{100} \times (-1), & 800 < d \leq 1200 \\ 95, & 1200 < d \leq 1300 \\ \frac{d - 10700}{100} \times (-1), & 1300 < d \leq 1400 \\ 94, & 1400 < d \end{cases}$$

A função matemática descrita foi inserida no código do *firmware* de controle, descrito na seção 3.4.3 e é mostrada em forma gráfica na Figura 51.

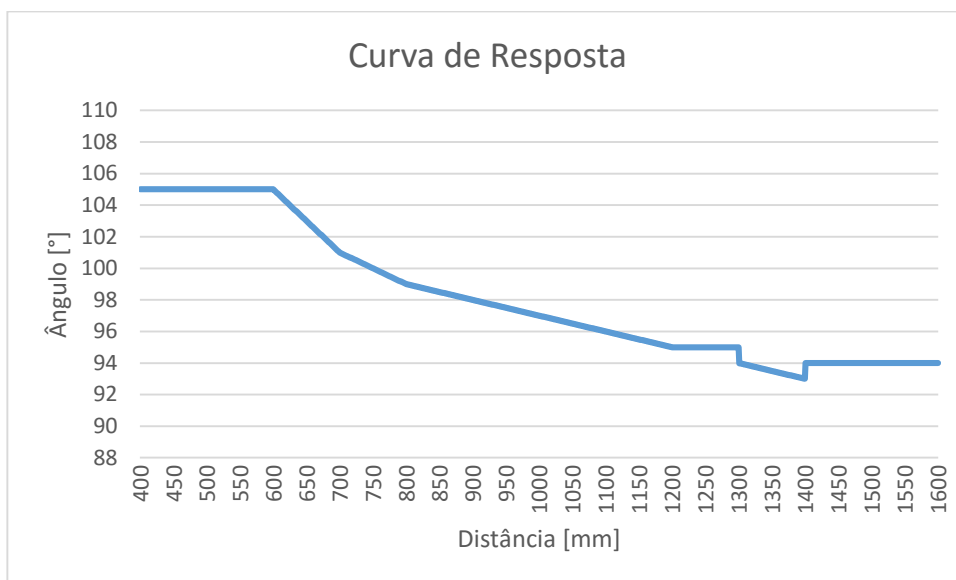


Figura 51 - Curva de Resposta

Fonte: autoria própria

3.4.2 Conexões e *Hardware*

O diagrama simplificado de ligação de todos os itens do sistema ao controlador central é mostrado na Figura 52.

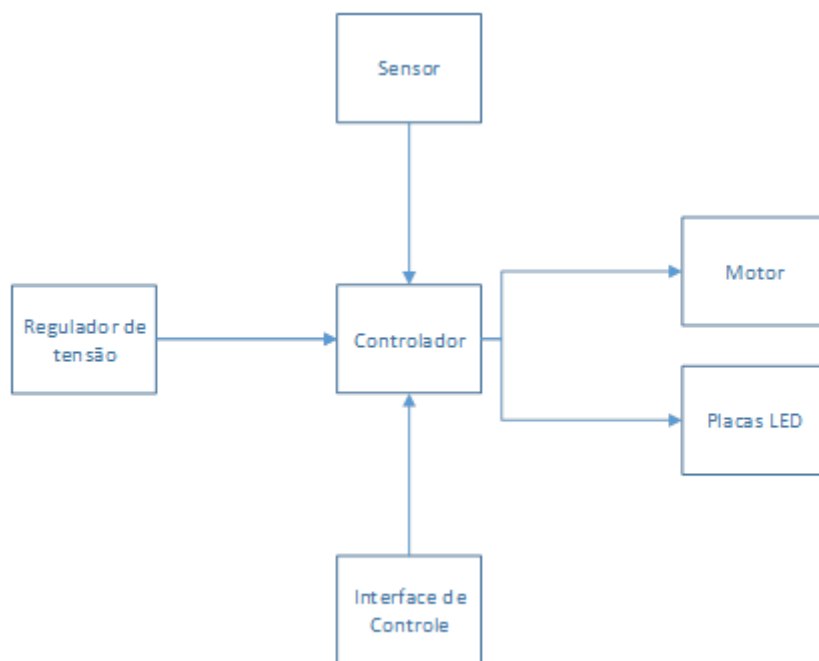


Figura 52 - Diagrama simplificado do sistema

Fonte: autoria própria

3.4.3 *Firmware* de Controle

O código do *firmware* de controle do sistema foi escrito na linguagem *Wiring*, utilizada nas placas de prototipagem eletrônica Arduino. Esta linguagem disponibiliza diversas bibliotecas para facilitar o desenvolvimento de códigos e pode ser utilizada em diversos microcontroladores da família ATmega, desde que estes utilizem o *bootloader* adequado (BANZI, 2009).

Utilizando as bibliotecas disponíveis, os códigos de interface, leitura do sensor e comando do motor foram integrados às funções comuns do foco cirúrgico, como controle de intensidade e temperatura de cor da luz. A curva de resposta obtida na seção 3.4.1 foi escrita em linguagem *Wiring* e integrada com as demais funções.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 SENSORES

4.1.1 Testes

Através dos testes descritos na seção 3.1.3.5 foi possível obter medições para cada uma das distâncias, condições e sensores. Com base nas medições, os parâmetros puderam ser calculados e a escolha do sensor pôde ser realizada.

4.1.1.1 Sensor Ultrassônico MB1013

A Tabela 4 apresenta a média de parâmetros medidos do sensor MB1013. O ANEXO L apresenta detalhadamente a resposta do sensor MB1013 na distância de 500, 100 e 1.500 mm com o foco desligado (luz ambiente) e com o foco ligado por meio de gráficos e tabelas individuais.

Tabela 4 – Valor dos parâmetros para o sensor MB1013

Parâmetro	Valor [mm]
Tendência	0,117
Desvio Padrão	1,315
Repetibilidade	3,051
Raio de detecção lateral	18,150

Fonte: autoria própria

4.1.1.2 Sensor Ultrassônico MB1023

A Tabela 5 apresenta a média de parâmetros medidos do sensor MB1023. O ANEXO M apresenta detalhadamente a resposta do sensor MB1023 na distância de 500, 100 e 1.500 mm com o foco desligado (luz ambiente) e com o foco ligado por meio de gráficos e tabelas individuais.

Tabela 5 – Valor dos parâmetros para o sensor MB1023

Parâmetro	Valor [mm]
Tendência	-3,556
Desvio Padrão	6,268
Repetibilidade	12,536
Raio de detecção lateral	27,800

Fonte: autoria própria

4.1.1.3 Sensor Infravermelho GP2Y0A02YK

A Tabela 6 apresenta a média de parâmetros medidos do sensor GP2Y0A02YK. O ANEXO N apresenta detalhadamente a resposta do sensor GP2Y0A02YK na distância de 500 mm com o foco desligado (luz ambiente) e com o foco ligado por meio de gráficos e tabelas individuais.

Com base nos valores adquiridos na leitura do sensor GP2Y0A02YK, este não apresentou um desempenho satisfatório tendo um desvio padrão maior que 200 mm com o foco ligado, sendo a presença do feixe de luz o causador de interferências na faixa do infravermelho, mesmo que os LEDs utilizados possuam poucos componentes nessa faixa.

Por não apresentar desempenho satisfatório nos parâmetros de tendência, desvio padrão e repetibilidade, o raio de detecção lateral não foi medido para este sensor.

Tabela 6 – Valor dos parâmetros para o sensor GP2Y0A02YK

Parâmetro	Valor [mm]
Tendência	102,595
Desvio Padrão	113,952
Repetibilidade	227,904
Raio de detecção lateral	n/a

Fonte: autoria própria

4.1.2 Escolha do Sensor

Com base nos valores calculados e medidos para os parâmetros, foi possível escolher o sensor MB1013 para o uso no presente trabalho, já que este apresenta os valores mais próximos de zero em todos os itens.

4.2 MOTOR

4.2.1 Testes

Após as soluções apresentadas na seção 3.2 o circuito de potência apresentou funcionamento satisfatório e foi montado em uma placa padrão, conforme mostrado na Figura 53.

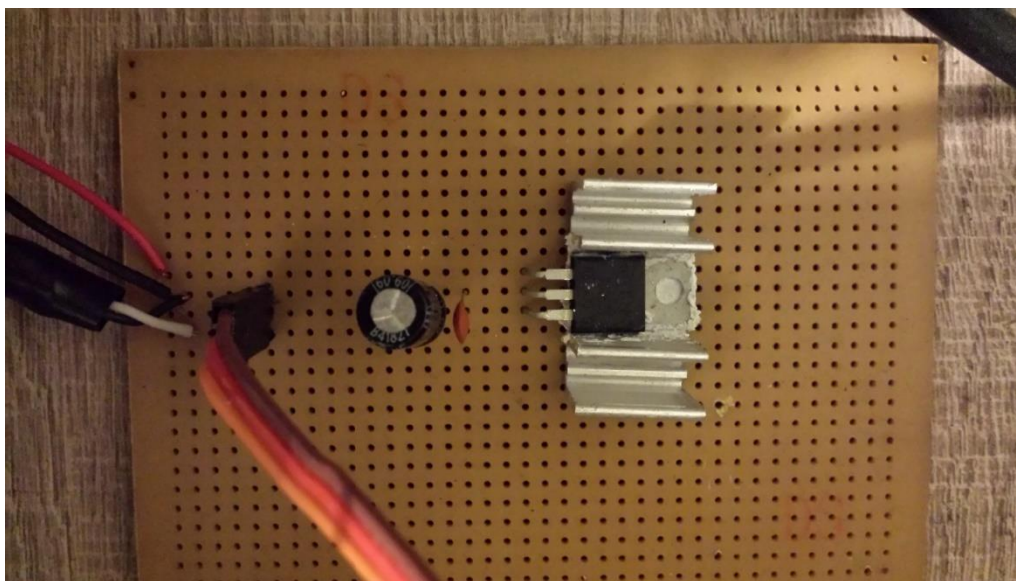


Figura 53 - Montagem do circuito de acionamento do motor

Fonte: autoria própria

4.2.2 Escolha do motor

Após os testes e ajustes realizados, o sistema completo, com circuito de potência, sistema de transmissão e motor, apresentou o funcionamento esperado e o motor 1501MG foi aprovado para uso no presente trabalho.

4.3 INTERFACE DE OPERAÇÃO

A interface de operação foi desenvolvida conforme descrito na seção 3.3 e é apresentada na Figura 54. O código para criação de gráficos e de resposta ao toque é apresentado no ANEXO O.



Figura 54 - Interface Touch Screen

Fonte: autoria própria

4.4 INTEGRAÇÃO DO SISTEMA

O código de controle completo, mostrado no ANEXO P, integra o código de interface, leitura do sensor e comando do motor, utilizando a curva de resposta levantada para que a relação entre distância e ângulo das placas LED seja mantida.

4.5 TESTES DE FUNCIONAMENTO

Para verificar a eficácia do sistema, foi necessário montá-lo de forma similar à mostrada na seção 3.1.3.5. No entanto, desta vez o *firmware* usado para o teste foi o *firmware* final descrito na seção 4.4 e um luxímetro calibrado foi adicionado para a medição de iluminância como mostrado na Figura 55 e Figura 56. A coleta de dados foi realizada com o monitoramento manual da distância medida pela trena, do ângulo do motor informado pela interface serial da plataforma de prototipagem Arduino na tela de um computador e do valor medido pelo luxímetro e lido em seu mostrador.



Figura 55 - Posicionamento do luxímetro no teste final

Fonte: autoria própria

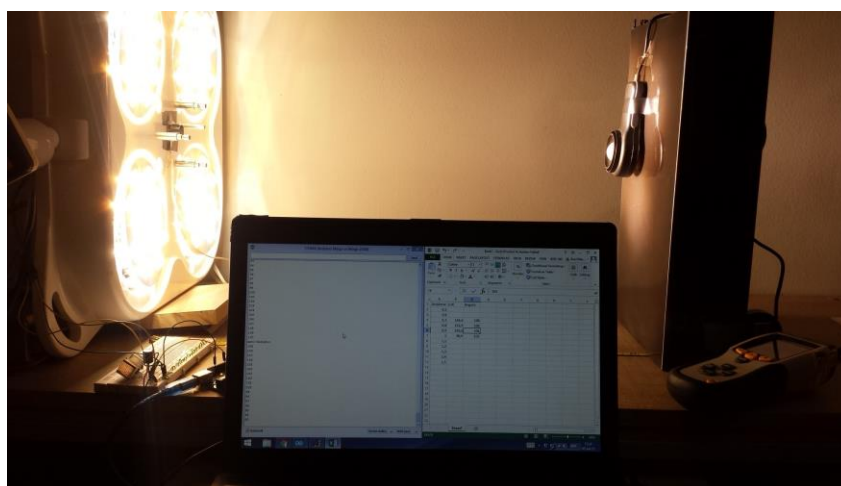


Figura 56 - Montagem completa do ambiente final de testes

Fonte: autoria própria

Com esta montagem, foi possível realizar três medições para cada distância e coletar os valores mostrados na

Tabela 7.

Tabela 7 - Valores de iluminância medidos

Distância d [mm]	Ângulo α [°]	Iluminância Medida [klux]		
		Medição 1	Medição 2	Medição 3
500	105,0	201,0	199,2	200,2
550	105,0	200,8	197,0	201,8
600	105,0	198,8	199,6	200,4
650	103,0	178,2	181,5	179,7
700	101,0	165,5	161,0	161,3
750	100,0	146,9	147,8	148,5
800	99,0	130,7	132,8	132,1
850	98,5	126,7	127,4	125,1
900	98,0	121,1	119,2	120,5
950	97,5	105,5	105,8	104,4
1.000	97,0	89,9	91,4	94,2
1.050	96,5	81,5	81,6	83,3
1.100	96,0	72,4	72,9	72,6
1.150	95,5	67,8	68,7	67,7
1.200	95,0	63,3	63,0	63,0
1.250	95,0	60,2	59,4	60,3
1.300	95,0	56,1	56,4	55,9
1.350	93,5	52,5	53,1	52,1
1.400	93,0	48,2	48,4	48,2
1.450	94,0	45,3	45,5	45,4
1.500	94,0	42,3	42,1	42,5

Fonte: autoria própria

Na Figura 57 foi possível observar de forma gráfica que os valores de leitura contêm poucos desvios aleatórios em relação aos valores de referência, indicando um desempenho adequado.

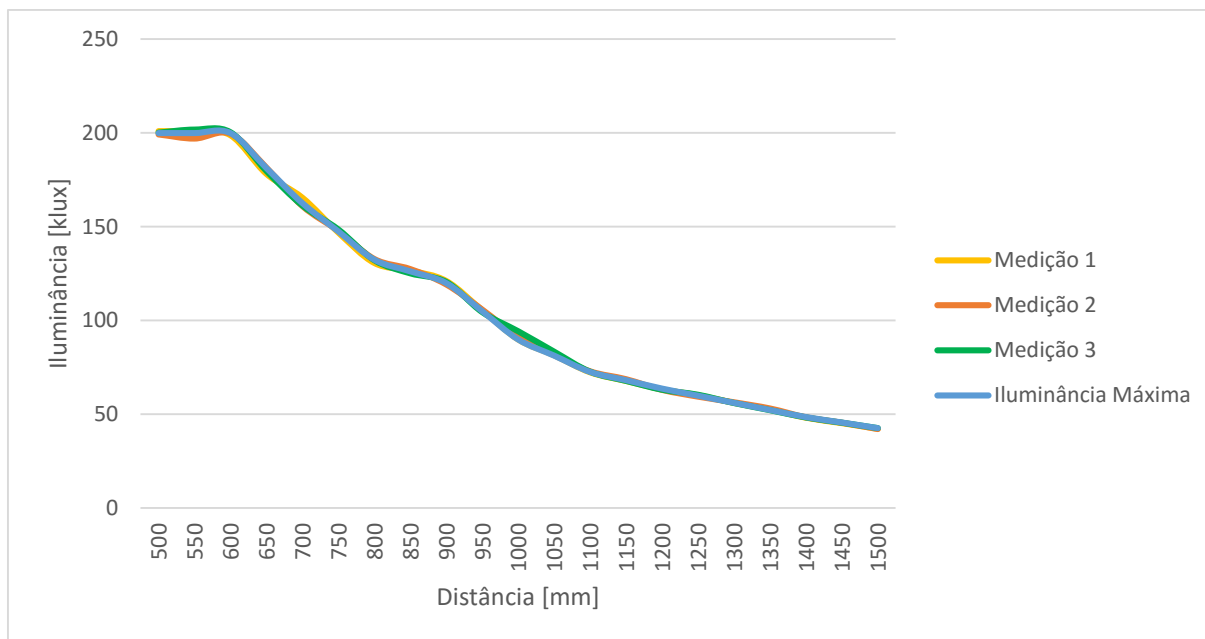


Figura 57 - Gráfico de comparação entre valores de referência e medições

Fonte: autoria própria

Com base nos dados coletados, foi possível realizar uma comparação com a Tabela 3 e calcular os parâmetros de tendência, desvio padrão e repetibilidade para o sistema completo, utilizando a mesma metodologia aplicada na seção 3.2.7. Desta forma, a Tabela 8 mostra os valores obtidos.

Tabela 8 - Parâmetros do sistema completo

Parâmetro	Valor [klux]
Tendência	-0,081
Desvio Padrão	1,106
Repetibilidade	4,757

Fonte: autoria própria

Analisando a Tabela 8 é possível verificar que os valores dos parâmetros se mantiveram próximos dos valores encontrados para o sensor utilizado, disponíveis na Tabela 4. Este resultado indica que a eficácia do sistema é relacionada com a qualidade do sensor utilizado, o que é um resultado satisfatório para o nível de precisão buscado pelo presente trabalho.

Foi possível também verificar visualmente a diferença do formato do campo luminoso na superfície iluminada. A Figura 58, Figura 59 e Figura 60 mostram o campo

luminoso sem ajuste automático. Ao afastar a superfície iluminada, foi possível identificar a luz de cada uma das quatro placas LED separadas, tendo assim o centro do campo como uma região com uma iluminância reduzida.



Figura 58 - Campo luminoso fixo (sem sistema automático) a 500 mm

Fonte: autoria própria

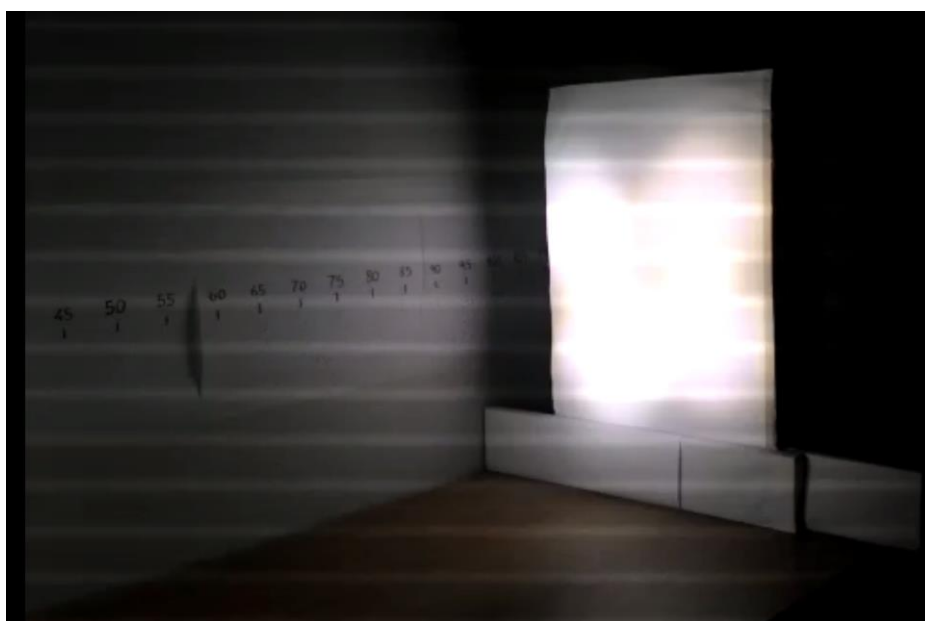


Figura 59 - Campo luminoso fixo (sem sistema automático) a 1.000 mm

Fonte: autoria própria



Figura 60 - Campo luminoso fixo (sem sistema automático) a 1.500 mm

Fonte: autoria própria

Já na Figura 61, Figura 62 e Figura 63 é possível observar o campo luminoso com ajuste automático. O campo manteve o formato esférico mesmo com o afastamento da superfície iluminada, tendo a iluminância máxima no centro do campo.



Figura 61 - Campo luminoso com sistema de ajuste automático a 500 mm

Fonte: autoria própria

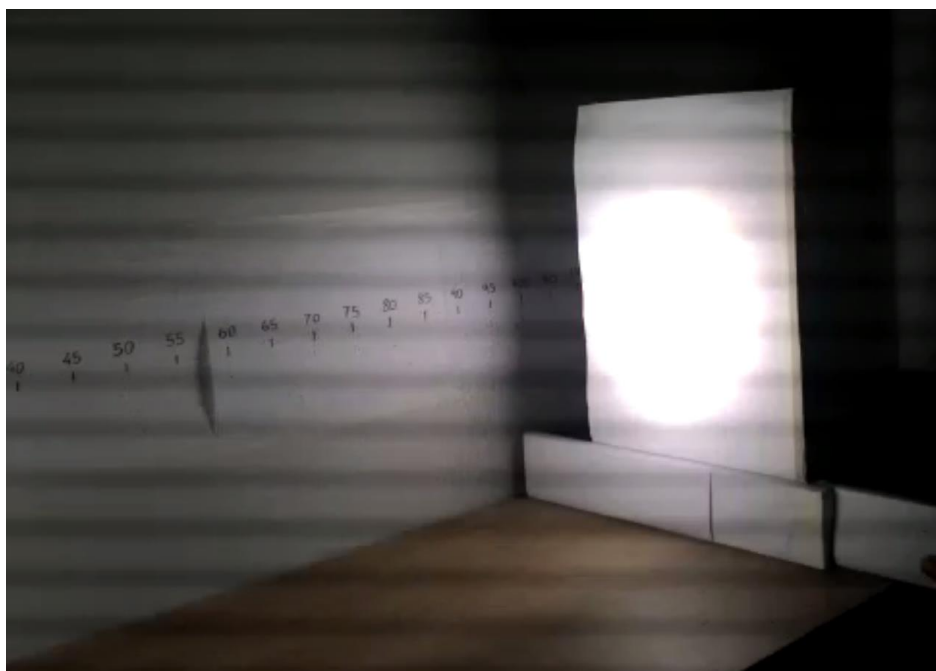


Figura 62 - Campo luminoso com sistema de ajuste automático a 1.000 mm

Fonte: autoria própria

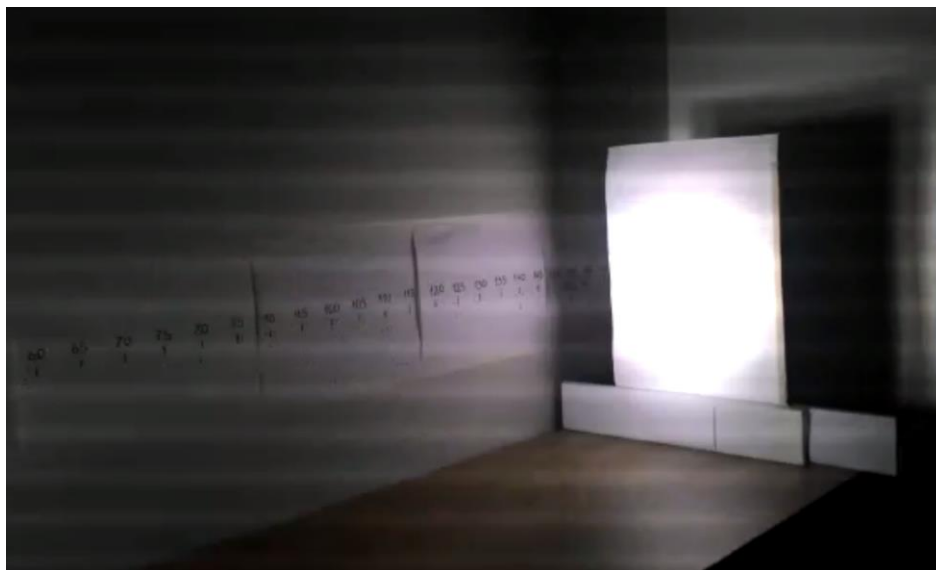


Figura 63 - Campo luminoso com sistema de ajuste automático a 1.500 mm

Fonte: autoria própria

O ajuste manual de campo em 5 níveis foi implementado com o intuito de permitir o ajuste do formato e tamanho do campo pelo usuário, caso a iluminância máxima não seja seu objetivo. A Figura 64 mostra à esquerda o menor campo possível para a distância de 1 m, enquanto à direita está o maior campo possível para a distância de 1 m.

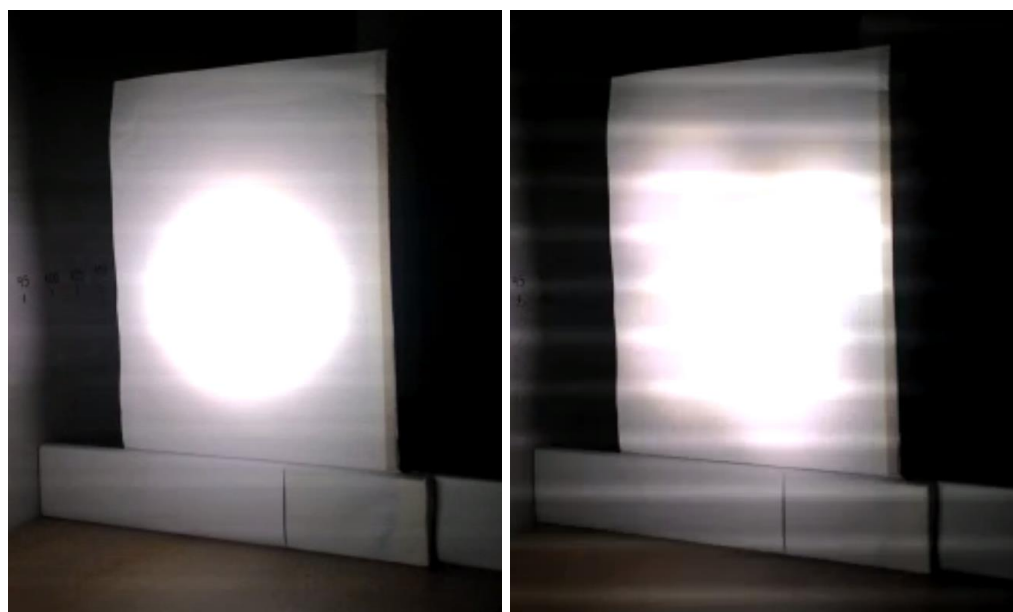


Figura 64 - Ajuste manual de campo

Fonte: autoria própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de um sistema para ajuste automático do campo luminoso de um foco cirúrgico foi realizado com sucesso, tendo um protótipo funcional sido construído e todos os objetivos propostos cumpridos satisfatoriamente. A escolha do sensor mais adequado para a detecção da distância se mostrou um dos pontos mais importantes do trabalho, tendo em vista que a eficácia do sistema completo se mostrou dependente de uma boa leitura de distância. Os testes dos sensores foram essenciais para garantir a escolha do mais adequado. O motor para a movimentação das placas de LEDs também foi um ponto crítico, principalmente pelas limitações dimensionais e de tensão de alimentação impostas pelo projeto. O teste do circuito de potência do motor foi de grande importância para garantir seu pleno funcionamento. Já no desenvolvimento do sistema de acoplamento e transmissão para a movimentação das placas de LEDs, pôde-se aproveitar grande parte da estrutura já existente, necessitando apenas alguns ajustes para fixação do motor. O *firmware*, bem como a interface de operação, demandou conhecimento de programação e microcontroladores, utilizando portas analógicas, portas lógicas, modulação por largura de pulso e manipulação de variáveis. A calibração do sistema foi um dos pontos mais trabalhosos, exigindo conhecimento da aplicação do produto, bem como de manipulação de variáveis e realização de operações matemáticas de interpolação.

A interface de operação foi desenvolvida visando a facilidade de operação e se mostrou efetiva neste objetivo, tendo poucos botões e indicadores e cumprindo seu objetivo de comunicar se o sistema automático está ligado e qual o tamanho do campo selecionado.

O protótipo permitiu que diversos ajustes fossem feitos, tanto para melhorar o desempenho do sistema completo como para verificar a eficácia do sistema. A eficácia foi verificada por meio de medições de iluminância com o sistema operando no modo automático. Os dados coletados foram analisados e mostraram um desempenho satisfatório, diretamente ligado ao desempenho do sensor escolhido.

A aplicação do conceito apresentado no presente trabalho em focos cirúrgicos comerciais pode ser considerada como uma possibilidade viável tecnicamente e estudos de viabilidade econômica, processos produtivos, custos de produção e estudo de mercado devem ser realizados para que este se torne um produto.

Dentre as melhorias possíveis para o projeto, destaca-se a aplicação de um sensor com repetibilidade, resolução e rejeição de objetos laterais melhores, a possibilidade de fechar a malha de controle com um sensor de inclinação na placa LED, realizar as medições dos parâmetros da norma IEC ABNT 60601-2-41 para o foco com o sistema automático e avaliar o impacto do uso do sistema sobre o tempo de cirurgia e o índice de infecção hospitalar em aplicações práticas.

REFERÊNCIAS

- ARDUÍNO. **ATmega2560-Arduino Pin Mapping**. Ivrea: Arduino, 2015. Disponível em: <<http://Arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560>> Acesso em 10 fev. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60601-2-41:2012: Equipamentos médicos elétricos – Parte 2-41: Requisitos particulares para a segurança básica e o desempenho essencial das luminárias cirúrgicas e luminárias para diagnóstico**. Rio de Janeiro, 2013.
- BANZI, Massimo. **Getting Started with Arduino**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2009.
- BARBI, Ivo. **Eletrônica de Potência**. Florianópolis: Edição do Autor, 2006.
- BARNES, Ralph Mosser. **Estudo de Movimentos e de tempos: Projeto e Medida do Trabalho**, 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1986.
- BEER, Ferdinand P. et al. **Mecânica vetorial para engenheiros – estática**. McGraw Hill Brasil, 2012.
- BOLTON, William. **Mecatrônica: Uma abordagem multidisciplinar**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- BOLTON, William. **Instrumentação & controle**. São Paulo: Hemus, 2005.
- CAMPOS, M.C.M.M; TEIXEIRA, H.C.G. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.
- CHESTNUT, Harold. **Servomechanisms and regulating system design**. New York: J. Wiley, 1955.
- COELHO, Luiz Antonio L. **Conceitos-chave em design**. Rio de Janeiro: PUC-Rio. Novas Ideias, 2008.
- ESTADOS UNIDOS. **Sincros, servomecanismos e fundamentos de giros**. São Paulo: Hemus, 1980.
- FRADEN, Jacob. **Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications**. 3rd ed. New York: Springer-Verlag, 2004.
- FRANKLIN, Gene; POWELL, David; EMAMI-NAEINI, Abbas. **Sistemas de Controle para Engenharia**, 6ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- GAYAKWAD, Ramakant; SOKOLOFF, Leonard. **Analog and digital control systems**. Englewood Cliffs: Prentice Hall; 1988
- GIROD, Bernd; STENGER, Alexander; RABENSTEIN, Rudolf. **Signals and systems**. Wiley, 2001.

GONÇALVES, Armando Albertazzi. **Apostila de metrologia** – Parte I. Laboratório de Metrologia e Automação, UFSC, 2002.

HAYKIN, Simon; VEEN, Berry Van. **Sinais e Sistemas**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

HINTZ, Kenneth J.; TABAK, Daniel. **Microcontrollers: architecture, implementation, and programming**. New York: McGraw-Hill, 1992.

INMETRO, SENAI. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. Inmetro e SENAI, 2ª ed., Brasília, SENAI/DN, 2000.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60601-2-41:2012: Equipamentos médicos elétricos – Parte 2-41: Requisitos especiais para a segurança das luminárias cirúrgicas e luminárias para diagnóstico**, Geneva, 2000.

JENKINS, Tudor E. **Optical sensing techniques and signal processing**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1987.

KARLSEN, Henning. **Arduíno library support for ITDB02 LCD Board**. Lenexa: Sainsmart, 2011.

KENJO, Takashi. **Electric motors and their controls: an introduction**. Oxford: Oxford University Press, 1991.

KRIPPENDORF, K. **Product semantics: a triangulation and four design theories**. In: VAVEKA, S. Product Semantics 89 Conference. Helsinki: University of Arts Helsinki, mai. 1990.

MACHADO, A., FERRAZ, A. A. B., FERRAZ, E., ARRUDA, E., NOBRE, J. K. L. R., Konkewicz, L. R., ... & SB, R. E.. **Prevenção da infecção hospitalar**. Projeto Diretrizes, p.16-17. 2001. Disponível em:< http://www.portalmedico.org.br/include/diretrizes/100_diretrizes/Infeccao_Hospitalar.pdf> Acesso em: 28 jan. 2015.

MAXBOTIX. **HRLV-MaxSonar - EZ Series**. Brainerd: Maxbotix, 2015. Disponível em: <http://www.maxbotix.com/documents/HRLV-MaxSonar-EZ_Datasheet.pdf> Acesso em 20 abr. 2015.

MAZZAROPPI, Marcelo. **Sensores de movimento e presença**. Monografia para obtenção de grau em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2007.

MEDEIROS, Aldo da Cunha; AIRES NETO, Tertuliano; DANTAS FILHO, Antônio Medeiros; PINTO JÚNIOR, Francisco Edilson Leite; UCHÔA, Raquel Araújo Costa; CARVALHO, Mariana Rêgo de. **Infecção hospitalar em pacientes cirúrgicos de hospital universitário**. Acta Cirúrgica Brasileira, São Paulo, v. 18, n.1, p. 15-18, 2003.

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-86502003000700003&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 28 jan. 2015.

MEDILAND Enterprise Corporation. **MediLED Symphony The World-class LED Surgical Lighting Solution**. Kueishan: Mediland [2010] 12 p.

MICROCHIP, Technology Inc. **Motor Control and Drive Design Solutions**. Chandler, 2013. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50001894C.pdf>> Acesso em: 25 mai. 2014b.

MICROCHIP, Technology Inc. **Quick Guide to Microchip Development Tools**. Chandler, 2013. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50001894C.pdf>> Acesso em: 24 mai. 2014a.

MORAES, EC de. **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2002.

NICHIA Corporation. **Specifications for Warm White LED: NVSL219AT-H3**. Kaminaka-Cho: Nichia [20--]-A. 19 p.

NICHIA Corporation. **Specifications for White LED: NVSW219AT-H3**. Kaminaka-Cho: Nichia [20--]-B. 18 p.

OLIVEIRA, Paulo Gonçalves de; VIANNA, André Luiz; SAMPAIO, André Luiz Lopes; NERI, Francisco Assis Leal. Contaminação trans-operatória de orientadores do foco cirúrgico, **Brasília méd**; 41(1/4):33-37, 2004.

OLIVEIRA, Ricardo Vasques de; RAMOS, Rodrigo Andrade; BRETAS, Newton Geraldo. **Controlador robusto multiobjetivo para o amortecimento de oscilações eletromecânicas em sistemas elétricos de potência**. Sba Controle & Automação, Campinas, v. 16, n. 3, Set. 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592005000300003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 22 mai. 2014.

ORICARE Inc. **L2700 Series Operating Room Lamps**. Quakertown: Oricare [20--]. 12 p.

PASCHOARELLI, Luís Carlos e SILVA, José Carlos Plácido da. **Design ergonômico: uma revisão dos seus aspectos metodológicos**. Conexão – Comunicação e Cultura, UCS, Caxias do Sul, v. 5, n. 10, jul./dez. 2006

RIFFEL, Douglas Bressan. **Circuitos e Dispositivos Eletrônicos de Potência**. São Cristóvão, 2009. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/dougbr/4-circuitos-e-dispositivos-eletronicos-de-potncia>> Acesso em: 25 mai. 2014.

RISTIC, Ljubisa. **Sensor technology and devices**. Boston: Artech House Publishers, 1994.

ROCKWELL, Corporação Internacional. **Fundamentação de Detecção de Presença**: Manual de Treinamento. São Paulo: Rockwell, 1999.

ROSÁRIO, João Maurício. **Princípios de mecatrônica**. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.

SHARP. **GP2Y0A02YK Optoelectronic Device**. Osaka: Sharp, 2006. Disponível em: < <http://www.sharpsme.com/download/GP2Y0A02YK-DATA-SHEETPDF>> Acesso em 20 abr. 2015.

SISMATEC, Indústria e Comércio de Equipamentos Hospitalares. **Manual do Usuário**: Foco Cirúrgico LED. Curitiba: Sismatec, 2013.

SISMATEC, Indústria e Comércio de Equipamentos Hospitalares. **Documentação de Projeto**. Curitiba: Sismatec, 2010.

TRILUX Medical GmbH & Co. **Aurinio LED OT lights**. Arnsberg: Trilux [20--]. 30 p.

POWER HD. Power HD 1501MG Analog Servo. Huizhou: Power HD, 2015. Disponível em: < https://www.pololu.com/file/download/HD-1501MG.pdf?file_id=0J729 > Acesso em 14 jun. 2015.

UNITED STATES PATENT. William J. Neubert. **Variable Multiple Color Led Illumination System**. US 6.183.086 B1, 12 mar. 1999, 6 fev. 2001.

WERNECK, Marcelo Martins. **Transdutores e interfaces**. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

ANEXOS

ANEXO A - CÓDIGO DE TESTES DOS SENSORES MB1013 E MB1023

```
const int anPin1 = 0;
long distance;

void setup() {
  Serial.begin(9600); // sets the serial port to 9600
}

void read_sensors(){
  /*
  Fator de escala de Vcc/5120 por mm. Com 5V tem-se ~0.977mV/mm
  A escala analógica do Arduino vai de 0 to 1024, então o valor tem que ser multiplicado por 5
  */
  distance = (analogRead(anPin1)*5);
}

void print_all(){
  Serial.print(distance);
  Serial.println("mm");
}

void loop() {
  read_sensors();
  print_all();
  delay(100);
}
```

Fonte: Adaptado de Maxbotix (2015)

ANEXO B - CÓDIGO PARA O TESTE DO SENSOR GP2Y0A02YK

```
int numSamples = 0;
long irSum = 0;

//convert voltage to millimeters
int convertIRvoltsToMM(float v) {
  return ((30431 * pow(v, -1.169))*10);
}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

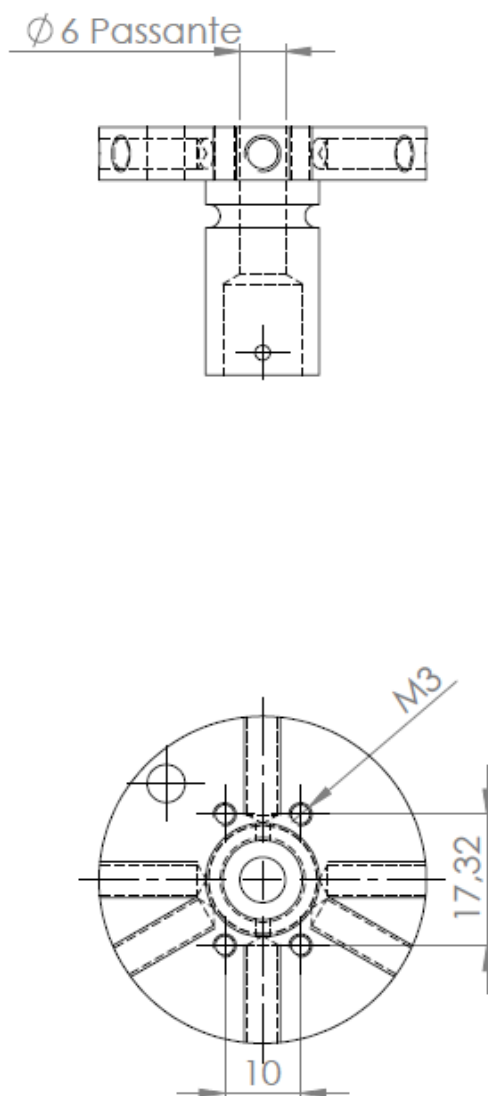
void loop() {
  irSum += analogRead(A0);
  numSamples++;

  if ( numSamples >= 10 ) {
    int distance = convertIRvoltsToMM( float(irSum) / float(numSamples) );

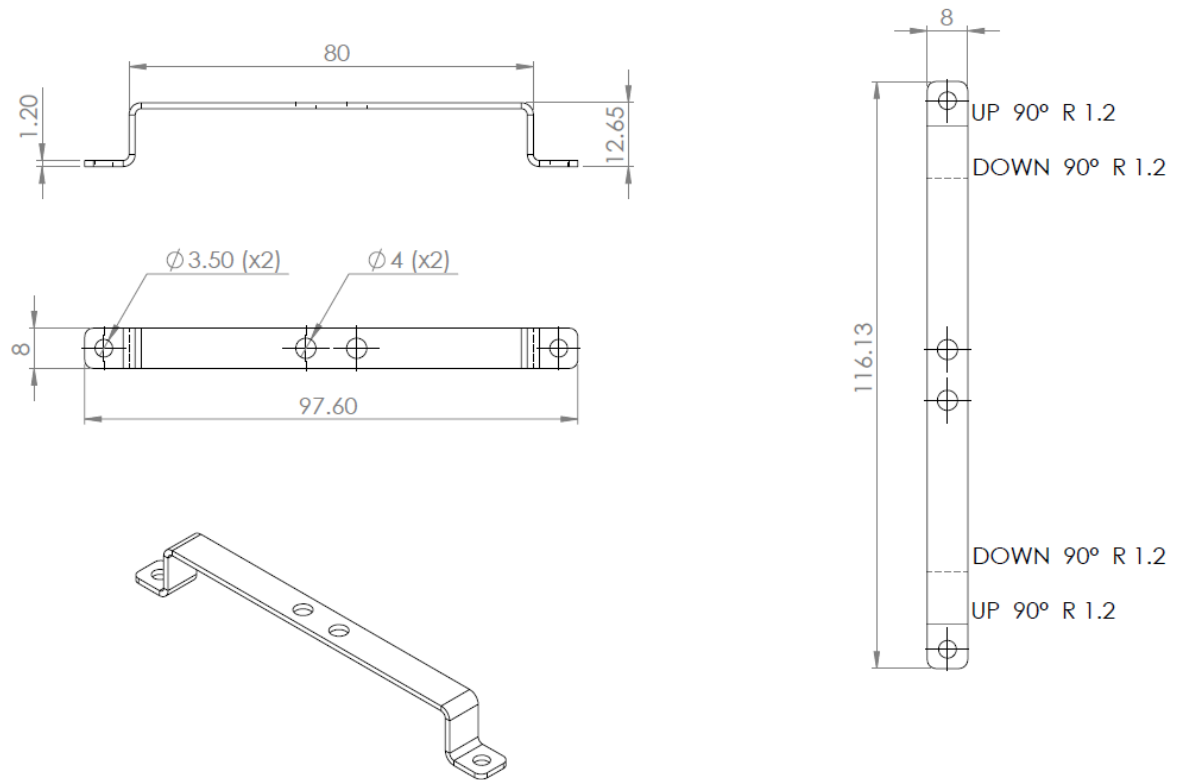
    Serial.println( distance );
    irSum = numSamples = 0;
  }
  delay(5);
}
```

Fonte: Adaptado de Sharp (2006)

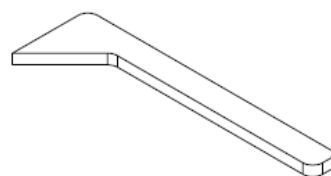
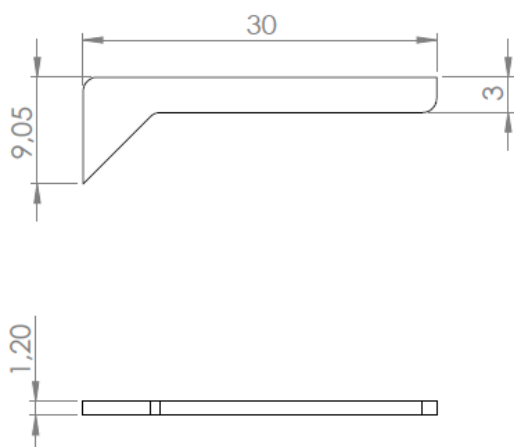
ANEXO C - EIXO CENTRAL DE TRANSMISSÃO MODIFICADO



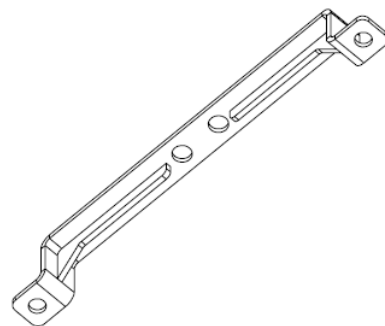
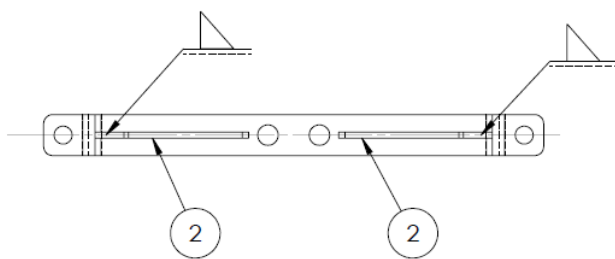
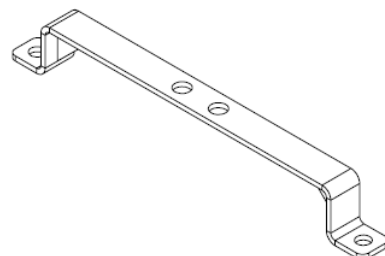
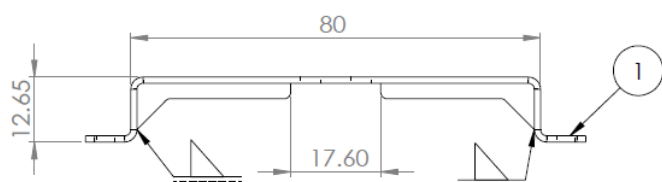
ANEXO D - CHAPA DO SUPORTE DO MOTOR



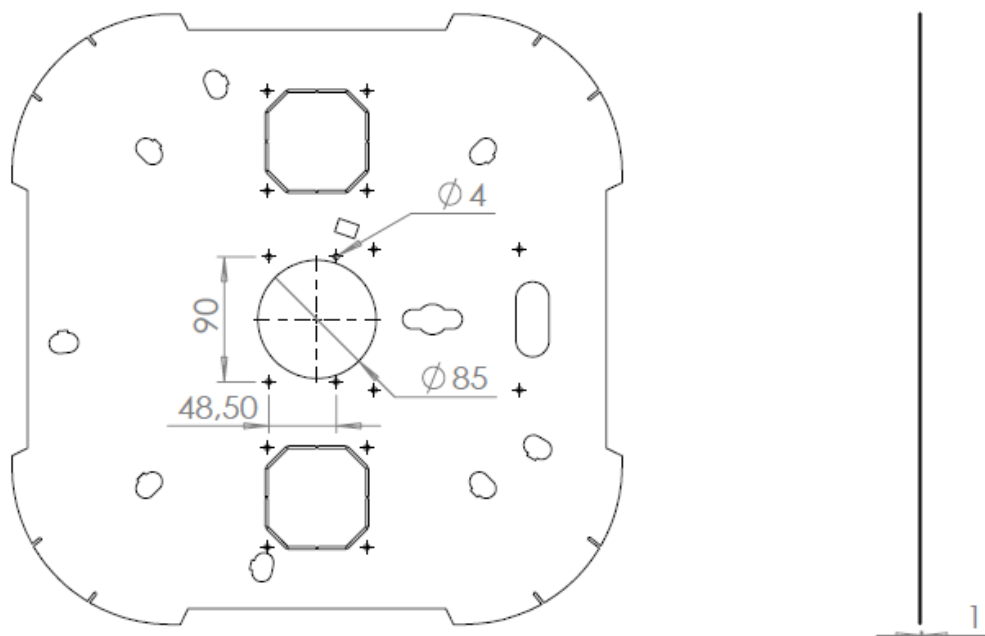
ANEXO E - REFORÇO DO SUPORTE DO MOTOR



ANEXO F - SUPORTE DO MOTOR



ANEXO G - CHAPA DE FIXAÇÃO INTERNA MODIFICADA



ANEXO H - CÓDIGO DE TESTES DO MOTOR 1501MG

```
#include <Servo.h>

Servo myservo; // cria um objeto para controle do servomotor

int val;        // variável para armazenar o ângulo do motor

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  myservo.attach(9); // atribui o pino 9 para o servomotor
  val = 90;          //inicia o programa em 90 graus
}

void loop()
{

  Serial.println("horario");

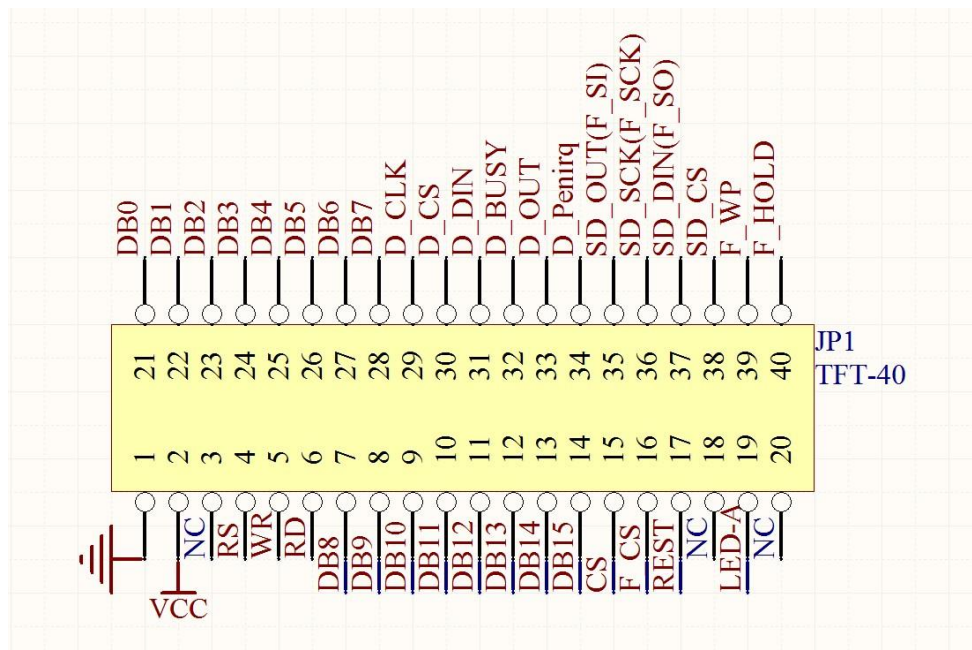
  while(val<110){
    val++;
    myservo.write(val); // manda o sinal de ângulo para o servomotor
    Serial.println(val);
    delay(50);          // tempo de espera entre incrementos
  }

  Serial.println("anti-horario");

  while(val>80){
    val--;
    myservo.write(val); // manda o sinal de ângulo para o servomotor
    Serial.println(val);
    delay(50);          // tempo de espera entre incrementos
  }
}
```

Fonte: autoria própria

ANEXO I - PINOS DE CONEXÃO DO TFT320QVT



Fonte: Karlsen (2011)

ANEXO J - PINOS DO TFT320QVT E LIGAÇÃO RECOMENDADA PARA ARDUÍNO MEGA2560

Função	Pino TFT320QVT	Pino Arduino Mega2560
BL_CTR	23	3.3V
VCC	24-25	3.3V
RD	4	3.3V
GND	26-27	GND
DB1-DB8	6-13	D37-D30
DB10-DB17	14-20	D22-D29
RS	2	D38
WR	3	D39
LCD_CS	1	D40
RSET	5	D41
DCLK	34	D6
T_CS	33	D5
MOSI	30	D4
MISO	29	D3
T_PEN	31	D2
SCK	34	D52
SD_CS	22	D53
MISO	29	D50
MOSI	30	D51

Fonte: Adaptado de Karlsen (2011)

ANEXO K - CÓDIGO DE TESTE DO MÓDULO TFT320QVT

```

// UTouch_ButtonTest (C)2010-2014 Henning Karlsen
// web: http://www.henningkarlsen.com/electronics
//
// This program is a quick demo of how create and use buttons.
//
// This program requires the UTFT library.
//
// It is assumed that the display module is connected to an
// appropriate shield or that you know how to change the pin
// numbers in the setup.
//

#include <UTFT.h>
#include <UTouch.h>

// Initialize display
// -----
// Set the pins to the correct ones for your development board
// -----
// Standard Arduino Uno/2009 Shield      : <display model>,19,18,17,16
// Standard Arduino Mega/Due shield      : <display model>,38,39,40,41
// CTE TFT LCD/SD Shield for Arduino Due : <display model>,25,26,27,28
// Teensy 3.x TFT Test Board              : <display model>,23,22, 3, 4
// ElecHouse TFT LCD/SD Shield for Arduino Due : <display model>,22,23,31,33
//
// Remember to change the model parameter to suit your display module!
UTFT  myGLCD(ITDB32S,38,39,40,41);

// Initialize touchscreen
// -----
// Set the pins to the correct ones for your development board
// -----
// Standard Arduino Uno/2009 Shield      : 15,10,14, 9, 8
// Standard Arduino Mega/Due shield      : 6, 5, 4, 3, 2
// CTE TFT LCD/SD Shield for Arduino Due : 6, 5, 4, 3, 2
// Teensy 3.x TFT Test Board              : 26,31,27,28,29
// ElecHouse TFT LCD/SD Shield for Arduino Due : 25,26,27,29,30
//
UTouch myTouch( 6, 5, 4, 3, 2);

// Declare which fonts we will be using
extern uint8_t BigFont[];

int x, y;
char stCurrent[20]="";
int stCurrentLen=0;
char stLast[20]="";

/*****
** Custom functions **
*****/

void drawButtons()
{
// Draw the upper row of buttons

```

```

for (x=0; x<5; x++)
{
  myGLCD.setColor(0, 0, 255);
  myGLCD.fillRoundRect (10+(x*60), 10, 60+(x*60), 60);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (10+(x*60), 10, 60+(x*60), 60);
  myGLCD.printNuml(x+1, 27+(x*60), 27);
}
// Draw the center row of buttons
for (x=0; x<5; x++)
{
  myGLCD.setColor(0, 0, 255);
  myGLCD.fillRoundRect (10+(x*60), 70, 60+(x*60), 120);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (10+(x*60), 70, 60+(x*60), 120);
  if (x<4)
    myGLCD.printNuml(x+6, 27+(x*60), 87);
}
myGLCD.print("0", 267, 87);
// Draw the lower row of buttons
myGLCD.setColor(0, 0, 255);
myGLCD.fillRoundRect (10, 130, 150, 180);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRoundRect (10, 130, 150, 180);
myGLCD.print("Clear", 40, 147);
myGLCD.setColor(0, 0, 255);
myGLCD.fillRoundRect (160, 130, 300, 180);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.drawRoundRect (160, 130, 300, 180);
myGLCD.print("Enter", 190, 147);
myGLCD.setBackColor (0, 0, 0);
}

void updateStr(int val)
{
  if (stCurrentLen<20)
  {
    stCurrent[stCurrentLen]=val;
    stCurrent[stCurrentLen+1]='\0';
    stCurrentLen++;
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
    myGLCD.print(stCurrent, LEFT, 224);
  }
  else
  {
    myGLCD.setColor(255, 0, 0);
    myGLCD.print("BUFFER FULL!", CENTER, 192);
    delay(500);
    myGLCD.print("      ", CENTER, 192);
    delay(500);
    myGLCD.print("BUFFER FULL!", CENTER, 192);
    delay(500);
    myGLCD.print("      ", CENTER, 192);
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
  }
}

// Draw a red frame while a button is touched
void waitForIt(int x1, int y1, int x2, int y2)

```

```

{
  myGLCD.setColor(255, 0, 0);
  myGLCD.drawRoundRect (x1, y1, x2, y2);
  while (myTouch.dataAvailable())
    myTouch.read();
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.drawRoundRect (x1, y1, x2, y2);
}

```

```

/*****
** Required functions **
*****/

```

```

void setup()
{
  // Initial setup
  myGLCD.InitLCD();
  myGLCD.clrScr();

  myTouch.InitTouch();
  myTouch.setPrecision(PREC_MEDIUM);

  myGLCD.setFont(BigFont);
  myGLCD.setBackColor(0, 0, 255);
  drawButtons();
}

```

```

void loop()
{
  while (true)
  {
    if (myTouch.dataAvailable())
    {
      myTouch.read();
      x=myTouch.getX();
      y=myTouch.getY();

      if ((y>=10) && (y<=60)) // Upper row
      {
        if ((x>=10) && (x<=60)) // Button: 1
        {
          waitForIt(10, 10, 60, 60);
          updateStr('1');
        }
        if ((x>=70) && (x<=120)) // Button: 2
        {
          waitForIt(70, 10, 120, 60);
          updateStr('2');
        }
        if ((x>=130) && (x<=180)) // Button: 3
        {
          waitForIt(130, 10, 180, 60);
          updateStr('3');
        }
        if ((x>=190) && (x<=240)) // Button: 4
        {
          waitForIt(190, 10, 240, 60);
          updateStr('4');
        }
      }
    }
  }
}

```

```

if ((x>=250) && (x<=300)) // Button: 5
{
    waitForIt(250, 10, 300, 60);
    updateStr('5');
}
}

if ((y>=70) && (y<=120)) // Center row
{
    if ((x>=10) && (x<=60)) // Button: 6
    {
        waitForIt(10, 70, 60, 120);
        updateStr('6');
    }
    if ((x>=70) && (x<=120)) // Button: 7
    {
        waitForIt(70, 70, 120, 120);
        updateStr('7');
    }
    if ((x>=130) && (x<=180)) // Button: 8
    {
        waitForIt(130, 70, 180, 120);
        updateStr('8');
    }
    if ((x>=190) && (x<=240)) // Button: 9
    {
        waitForIt(190, 70, 240, 120);
        updateStr('9');
    }
    if ((x>=250) && (x<=300)) // Button: 0
    {
        waitForIt(250, 70, 300, 120);
        updateStr('0');
    }
}

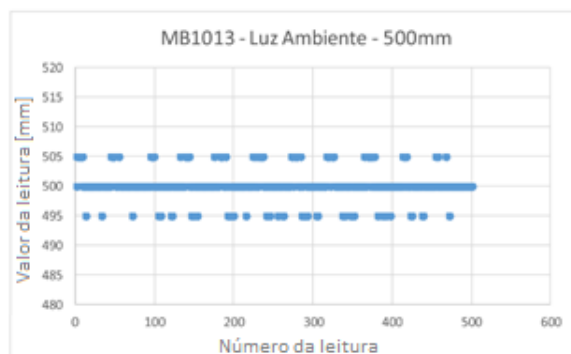
if ((y>=130) && (y<=180)) // Upper row
{
    if ((x>=10) && (x<=150)) // Button: Clear
    {
        waitForIt(10, 130, 150, 180);
        stCurrent[0]='\0';
        stCurrentLen=0;
        myGLCD.setColor(0, 0, 0);
        myGLCD.fillRect(0, 224, 319, 239);
    }
    if ((x>=160) && (x<=300)) // Button: Enter
    {
        waitForIt(160, 130, 300, 180);
        if (stCurrentLen>0)
        {
            for (x=0; x<stCurrentLen+1; x++)
            {
                stLast[x]=stCurrent[x];
            }
            stCurrent[0]='\0';
            stCurrentLen=0;
            myGLCD.setColor(0, 0, 0);
            myGLCD.fillRect(0, 208, 319, 239);
        }
    }
}

```

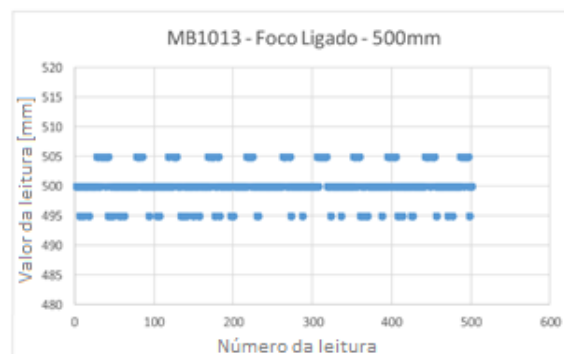
```
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
    myGLCD.print(stLast, LEFT, 208);
  }
  else
  {
    myGLCD.setColor(255, 0, 0);
    myGLCD.print("BUFFER EMPTY", CENTER, 192);
    delay(500);
    myGLCD.print("      ", CENTER, 192);
    delay(500);
    myGLCD.print("BUFFER EMPTY", CENTER, 192);
    delay(500);
    myGLCD.print("      ", CENTER, 192);
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
  }
}
}
}
}
```

Fonte: Karlsen (2015)

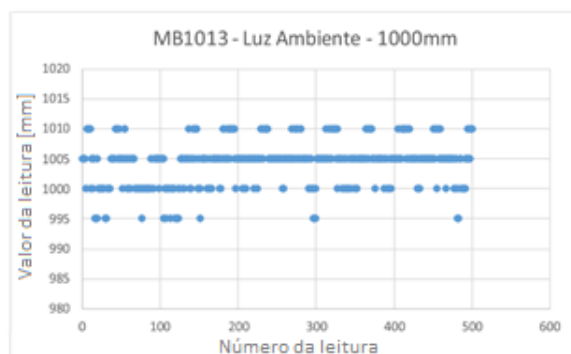
ANEXO L - GRÁFICOS E TABELAS DE LEITURA DO SENSOR MB1013



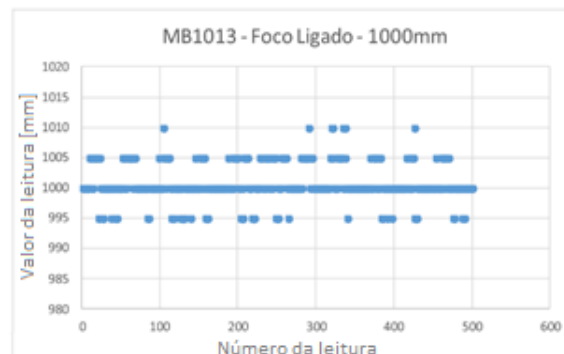
Parâmetro	Valor
Média de indicações	497.05
Tendência	-2.95
Desvio Padrão	3.844419217
Repetibilidade	7.668838435



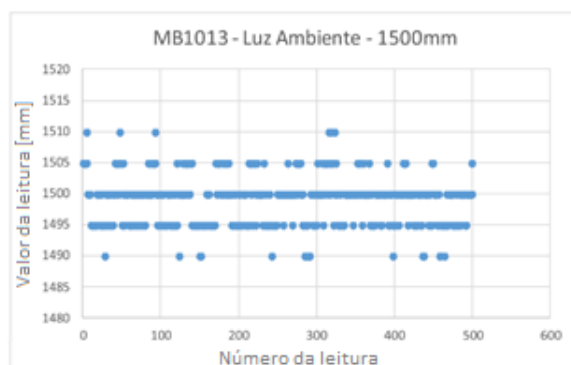
Parâmetro	Valor
Média de indicações	497.0941884
Tendência	-2.905811623
Desvio Padrão	3.95363915
Repetibilidade	7.907278299



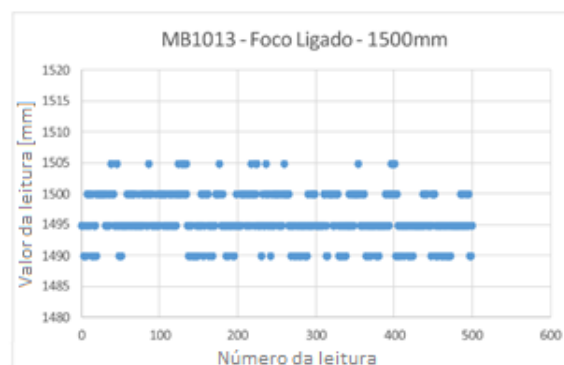
Parâmetro	Valor
Média de indicações	999.54
Tendência	-0.46
Desvio Padrão	6.666249152
Repetibilidade	13.3324983



Parâmetro	Valor
Média de indicações	998.1362725
Tendência	-1.863727455
Desvio Padrão	8.178249662
Repetibilidade	16.35649932

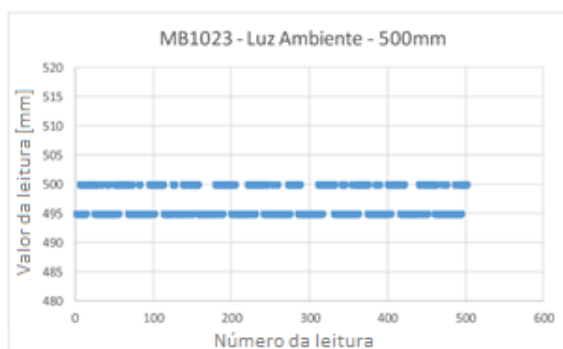


Parâmetro	Valor
Média de indicações	1494.54
Tendência	-5.46
Desvio Padrão	6.7223791
Repetibilidade	13.4447582

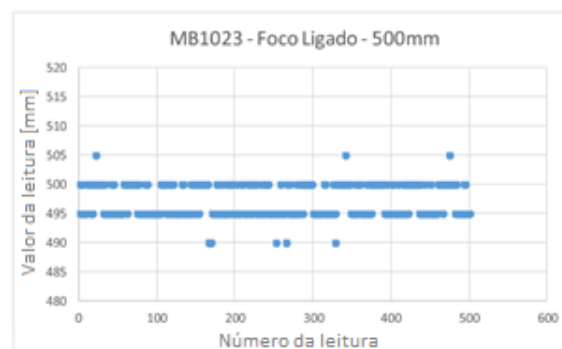


Parâmetro	Valor
Média de indicações	1492.304609
Tendência	-7.695390782
Desvio Padrão	8.242321987
Repetibilidade	16.48464397

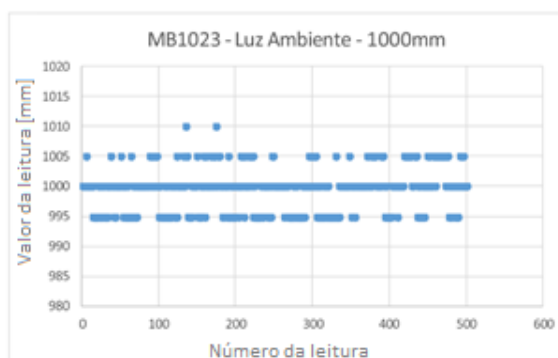
ANEXO M - GRÁFICOS E TABELAS DE LEITURA DO SENSOR MB1023



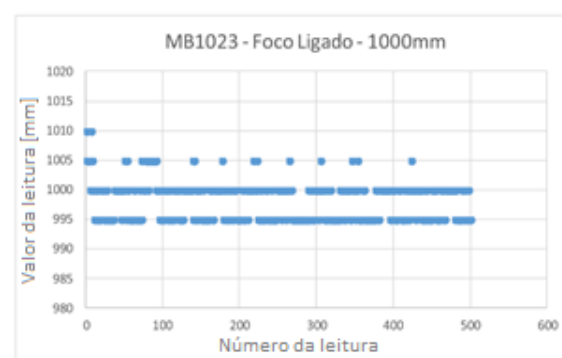
Parâmetro	Valor
Média de indicações	497.05
Tendência	-2.95
Desvio Padrão	3.844419217
Repetibilidade	7.688838435



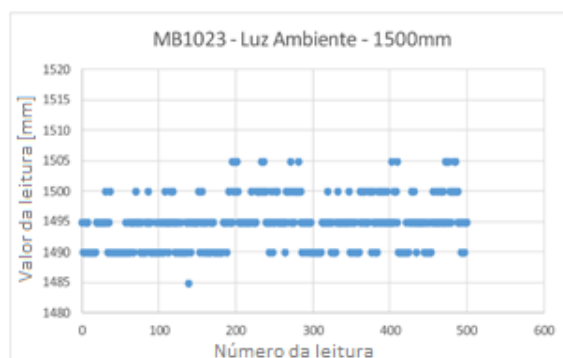
Parâmetro	Valor
Média de indicações	497.0941884
Tendência	-2.905811623
Desvio Padrão	3.95363915
Repetibilidade	7.907278299



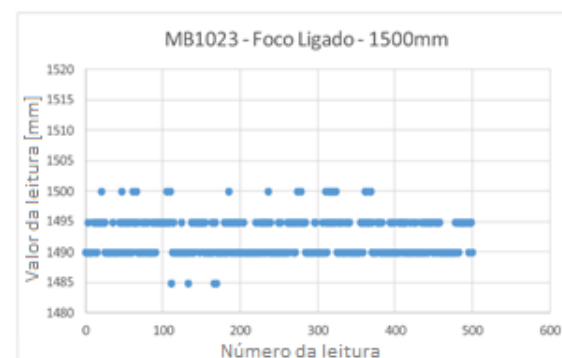
Parâmetro	Valor
Média de indicações	999.54
Tendência	-0.46
Desvio Padrão	6.666249152
Repetibilidade	13.3324983



Parâmetro	Valor
Média de indicações	998.1362725
Tendência	-1.863727455
Desvio Padrão	8.178249662
Repetibilidade	16.35649932

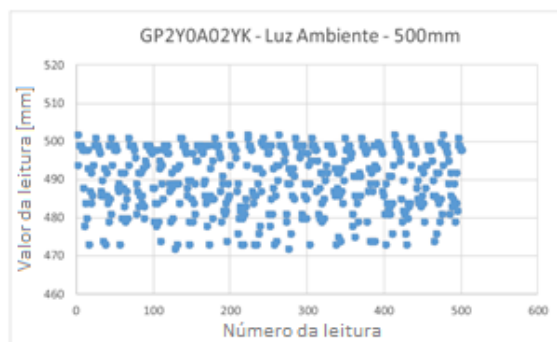


Parâmetro	Valor
Média de indicações	1494.54
Tendência	-5.46
Desvio Padrão	6.7223791
Repetibilidade	13.4447582

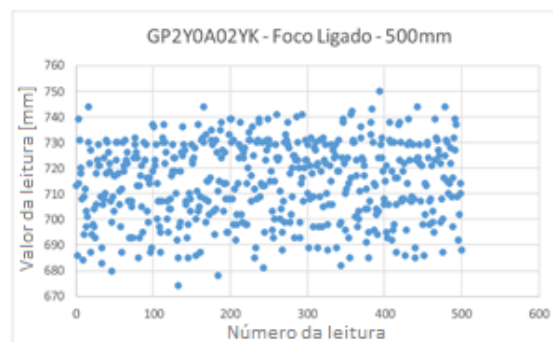


Parâmetro	Valor
Média de indicações	1492.304609
Tendência	-7.695390782
Desvio Padrão	8.242321987
Repetibilidade	16.48464397

ANEXO N - GRÁFICOS E TABELAS DE LEITURA DO SENSOR GP2Y0A02YK



Parâmetro	Valor
Média de indicações	490,528
Tendência	-9,472
Desvio Padrão	12,48582
Repetibilidade	24,97165



Parâmetro	Valor
Média de indicações	714,662
Tendência	214,662
Desvio Padrão	215,4186
Repetibilidade	430,8372

ANEXO O - CÓDIGO DE TESTE DA INTERFACE DE OPERAÇÃO

```

#include <UTFT.h>
#include <UTouch.h>

UTFT myGLCD(ITDB32S,38,39,40,41);
UTouch myTouch( 6, 5, 4, 3, 2);

extern uint8_t BigFont[];
extern uint8_t SmallFont[];

/***** DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS *****/
boolean bPower = 0, a1 = 0, a2 = 0, a3 = 0, a4 = 0, a5 = 0, a6 = 0, bEndo = 0, bSerial = 0;
int d1, d2, cont1 = 0, cont2 = 0, cont3 = 0, cont4 = 0, cont5 = 0, cont6 = 0, cont7, d1tmp, d1tmp2, cont8,
b1, buf_test, next_in, cont_reset;
int dut1, dut2, dut3;
float dut1a, dut2a;
int x, y;
char const* b;
long sensor1, mm;
int pos = 0; // variable to store the servo position

/***** FUNÇÃO DESENHAR BOTÕES E BARRAS *****/
void drawButtons()
{
//PRIMEIRA LINHA
//Legenda TEMPERATURA DE COR
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackColor(255, 255, 255);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.print("COR", 105, 5);
myGLCD.setFont(BigFont);

//Botão diminuir TEMPERATURA DE COR
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (10, 20, 60, 70);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("-", 27, 37);

//Botão aumentar TEMPERATURA DE COR
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (171, 20, 221, 70);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("+", 188, 37);

//Barra de TEMPERATURA DE COR
y = 32;
for (x=0; x<8; x++)
{
if(x == 3){
myGLCD.setColor(255, 122, 0);
}
else if(x == 4){
myGLCD.setColor(255, 255, 0);
}
else{

```

```

    myGLCD.setColor(169,168,167);
  }
  myGLCD.fillRect (65+(x*13), (20+y), 75+(x*13), 70);
  y = y - 4;
}

//SEGUNDA LINHA
//LED Power
myGLCD.setColor(255, 255, 0);
myGLCD.fillRect (10, 100, 20, 140);

//Button Power
myGLCD.setBackColor(0,124,68);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.fillRoundRect (30, 95, 90, 145);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("ON", 43, 112);

//LED Endo
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRect (131, 100, 141, 140);

//Button endo
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (151, 95, 221, 145);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("ENDO", 154, 112);

//TERCEIRA LINHA
//Legenda Intensidade de Luz
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackColor(255, 255, 255);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.print("LUX", 105, 155);
myGLCD.setFont(BigFont);

//Botão diminuir instensidade de luz
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (10, 170, 60, 220);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("-", 27, 187);

//Botão aumentar instensidade de luz
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (171, 170, 221, 220);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("+", 188, 187);

//Barra de instensidade de luz
y = 32;
for (x=0; x<8; x++)
{
  if(x == 5){
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
  }
  else{
    myGLCD.setColor(169,168,167);
  }
}

```

```

    }
    myGLCD.fillRect (65+(x*13), (170+y), 75+(x*13), 220);
    y = y - 4;
}

//COLUNA DA DIREITA
//Linha
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.drawLine(229,20,229,220);
myGLCD.drawLine(230,20,230,220);
myGLCD.drawLine(231,20,231,220);

//Legenda Ajuste de Campo
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(255, 255, 255);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.print("CAMPO", 255, 5);
myGLCD.setFont(BigFont);

//Botão Liga/Desliga ajuste de campo automático
myGLCD.setBackgroundColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (240, 20, 310, 70);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("AUTO", 243, 37);

//Botão aumenta campo
myGLCD.setBackgroundColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (240, 80, 310, 110);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("+", 267, 87);

//Barra de instensidade de luz
for (y=0; y<5; y++)
{
    if(y==2){
        myGLCD.setColor(0,255,0);
    }
    else{
        myGLCD.setColor(169,168,167);
    }
    myGLCD.fillRect (245, 115+(y*15), 305, 125+(y*15));
}

//Botão diminui campo
myGLCD.setBackgroundColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (240, 190, 310, 220);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("-", 267, 197);

}

/***** FUNÇÃO BOTÃO PRESSIONADO *****/
void butonpress(int x1, int y1, int x2, int y2)
{
    //Pressionado

```

```

myGLCD.setBackColor(0,124,68);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.fillRoundRect (x1, y1, x2, y2);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print(b, (x1+17), (y1+17));

while (myTouch.dataAvailable())
  myTouch.read();

//Solto
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (x1, y1, x2, y2);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print(b, (x1+17), (y1+17));
}

/***** INICIALIZAÇÃO *****/
void setup()
{
// Initial setup
myGLCD.InitLCD();
myGLCD.clrScr();

myTouch.InitTouch();
myTouch.setPrecision(PREC_MEDIUM);

myGLCD.fillScr(255,255,255);
myGLCD.setFont(BigFont);
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
drawButtons();
}

/***** LOOP PRINCIPAL *****/
void loop()
{
while (true)
{
//Lê os botões
if (myTouch.dataAvailable())
{
myTouch.read();
x = myTouch.getX();
y = myTouch.getY();

if ((y>=20) && (y<=70))
{
/***** Botão diminuir temperatura de cor *****/
if ((x>=10) && (x<=60))
{
//Entradas para acionamento do botão
b="-";
butonpress(10, 20, 60, 70);
}

/***** Botão aumentar temperatura de cor *****/
if ((x>=171) && (x<=221))
{
//Entradas para acionamento do botão

```

```

    b="+";
    butonpress(171, 20, 221, 70);
}
}

if ((y>=95) && (y<=145))
{
/***** Botão Liga *****/
if ((x>=30) && (x<=90))
{
    if(bPower){
        bPower = 0;
        //Button Power
        myGLCD.setBackColor(169,168,167);
        myGLCD.setColor(169,168,167);
        myGLCD.fillRoundRect (30, 95, 90, 145);
        myGLCD.setColor(255, 255, 255);
        myGLCD.print("OFF", 38, 112);
        //LED Power
        myGLCD.setColor(169,168,167);
        myGLCD.fillRect (10, 100, 20, 140);
        while (myTouch.dataAvailable())
            myTouch.read();
    }
    else{
        bPower = 1;
        //Button Power
        myGLCD.setBackColor(0,124,68);
        myGLCD.setColor(0,124,68);
        myGLCD.fillRoundRect (30, 95, 90, 145);
        myGLCD.setColor(255, 255, 255);
        myGLCD.print("ON", 43, 112);
        //LED Power
        myGLCD.setColor(255, 255, 0);
        myGLCD.fillRect (10, 100, 20, 140);
        while (myTouch.dataAvailable())
            myTouch.read();
    }
}
}

/***** Botão Endo *****/
if ((x>=151) && (x<=221))
{
    if(bEndo){
        bEndo = 0;
        //Button Endo
        myGLCD.setBackColor(169,168,167);
        myGLCD.setColor(169,168,167);
        myGLCD.fillRoundRect (151, 95, 221, 145);
        myGLCD.setColor(255, 255, 255);
        myGLCD.print("ENDO", 154, 112);
        //LED Endo
        myGLCD.setColor(169,168,167);
        myGLCD.fillRect (131, 100, 141, 140);
        while (myTouch.dataAvailable())
            myTouch.read();
    }
    else{
        bEndo = 1;

```



```

//Button Endo
myGLCD.setBackgroundColor(0,124,68);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.fillRect (151, 95, 221, 145);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("ENDO", 154, 112);
//LED Endo
myGLCD.setColor(0, 255, 0);
myGLCD.fillRect (131, 100, 141, 140);
while (myTouch.dataAvailable())
  myTouch.read();
}
}
}

if ((y>=170) && (y<=220))
{
  /***** Botão aumentar intensidade luminosa *****/
  if ((x>=10) && (x<=60))
  {
    //Entradas para acionamento do botão
    b="-";
    butonpress(10, 170, 60, 220);
  }

  /***** Botão diminuir intensidade luminosa *****/
  if ((x>=171) && (x<=221))
  {
    //Entradas para acionamento do botão
    b="+";
    butonpress(171, 170, 221, 220);
  }
}

//Atualiza barra de temperatura de cor
y = 32;
for (x=0; x<8; x++)
{
  if(bPower && !bEndo && x<4 && (x==d2-1)){
    myGLCD.setColor(255, 122, 0);
  }
  else if(bPower && !bEndo && x==4 && x==d2-1){
    myGLCD.setColor(255, 122, 0);
    myGLCD.fillRect (65+((x-1)*13), (20+(y+4)), 75+((x-1)*13), 70);
    myGLCD.setColor(255, 255, 0);
    myGLCD.fillRect (65+(x*13), (20+y), 75+(x*13), 70);
  }
  else if(bPower && !bEndo && x>4 && (x==d2-1)){
    myGLCD.setColor(255, 255, 0);
  }
  else{
    myGLCD.setColor(169,168,167);
  }
  myGLCD.fillRect (65+(x*13), (20+y), 75+(x*13), 70);
  y = y - 4;
}

//Atualiza a barra de intensidade de luz

```

```
y = 32;
for (x=0; x<8; x++)
{
  if(bPower && (x==d1-1)){
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
  }
  else{
    myGLCD.setColor(169,168,167);
  }
  myGLCD.fillRect (65+(x*13), (170+y), 75+(x*13), 220);
  y = y - 4;
}
}
}
```

Fonte: autoria própria

ANEXO P - CÓDIGO COMPLETO

```

#include <UTFT.h>
#include <UTouch.h>
#include <Servo.h>

UTFT myGLCD(ITDB32S,38,39,40,41);
UTouch myTouch( 6, 5, 4, 3, 2);
Servo smotor;

extern uint8_t BigFont[];
extern uint8_t SmallFont[];

/***** DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS *****/
boolean bPower = 0, a1 = 0, a2 = 0, a3 = 0, a4 = 0, a5 = 0, a6 = 0, bEndo = 0, bSerial = 0, autofocus = 0;
int lux, cor, campo, cont1 = 0, cont2 = 0, cont3 = 0, cont4 = 0, cont5 = 0, cont6 = 0, cont7, luxtmp, luxtmp2, cont8, b1, buf_test, next_in, cont_reset;
int dut1, dut2, dut3;
float dut1a, dut2a;
int x, y;
char const* b;
float dist;
float pos = 0;
float posant = 0;

/***** DECLARAÇÃO DE PINOS *****/
const int Pwm1 = 7; //Saída PWM1 - LEDs Brancos
const int Pwm2 = 8; //Saída PWM2 - LEDs Amarelos
const int Pwm3 = 9; //Saída PWM3 - LEDs Verdes
const int Cvent = 10; //comando de acionar o ventilador
const int Termo = 11; //entrada do termostato
const int motor = 12; //Saída do PWM para controle do motor servo
const int sensor = 0; //entrada do sensor de distância

/***** FUNÇÃO PARA LER O SENSOR DE DISTÂNCIA *****/
void read_sensor(){
  dist = (analogRead(sensor)*5);
}

/***** FUNÇÃO PARA CALCULAR O ÂNGULO DO MOTOR SERVO *****/
void servo_motor()
{
  //Ângulo conforme distância
  if(autofoco){
    if(dist<600){
      pos = 105;
    }
    else if(dist>600 && dist<700){
      pos =((dist-3225)/25)*(-1);
    }
    else if(dist>700 && dist<800){
      pos =((dist-5750)/50)*(-1);
    }
    else if(dist>800 && dist<1200){
      pos =((dist-10700)/100)*(-1);
    }
  }
}

```

```

}
else if(dist>1200 && dist<1300){
  pos = 95;
}
else if(dist>1300 && dist<1400){
  pos =((dist-10700)/100)*(-1);
}
else if(dist>1400){
  pos = 94;
}
}
}

//Ângulo conforme nível selecionado
switch(campo){
case 1:
  pos = pos - 8;
  break;
case 2:
  pos = pos - 6;
  break;
case 3:
  pos = pos - 4;
  break;
case 4:
  pos = pos - 2;
  break;
case 5:
  pos = pos;
  break;
}
}

/***** FUNÇÃO DESENHAR BOTÕES E BARRAS *****/
void drawButtons()
{
//PRIMEIRA LINHA
//Legenda TEMPERATURA DE COR
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackgroundColor(255, 255, 255);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.print("COR", 105, 5);
myGLCD.setFont(BigFont);

//Botão diminuir TEMPERATURA DE COR
myGLCD.setBackgroundColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (10, 20, 60, 70);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("-", 27, 37);

//Botão aumentar TEMPERATURA DE COR
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (171, 20, 221, 70);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("+", 188, 37);

//Barra de TEMPERATURA DE COR
y = 32;

```

```

for (x=0; x<8; x++)
{
  if(x == 3){
    myGLCD.setColor(255, 122, 0);
  }
  else if(x == 4){
    myGLCD.setColor(255, 255, 0);
  }
  else{
    myGLCD.setColor(169,168,167);
  }
  myGLCD.fillRect (65+(x*13), (20+y), 75+(x*13), 70);
  y = y - 4;
}

```

```
//SEGUNDA LINHA
```

```
//LED Power
```

```
myGLCD.setColor(255, 255, 0);
myGLCD.fillRect (10, 100, 20, 140);
```

```
//Button Power
```

```
myGLCD.setBackColor(0,124,68);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.fillRoundRect (30, 95, 90, 145);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
//Simbolo de Power
myGLCD.drawCircle (60, 120, 14);
myGLCD.drawCircle (60, 120, 13);
myGLCD.drawCircle (60, 120, 12);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.fillRect (55, 95, 65, 120);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.fillRect (59, 101, 61, 116);
```

```
//LED Endo
```

```
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRect (131, 100, 141, 140);
```

```
//Button endo
```

```
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (151, 95, 221, 145);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("ENDO", 154, 112);
```

```
//TERCEIRA LINHA
```

```
//Legenda Intensidade de Luz
```

```
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackColor(255, 255, 255);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.print("LUX", 105, 155);
myGLCD.setFont(BigFont);
```

```
//Botão diminuir instensidade de luz
```

```
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (10, 170, 60, 220);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("-", 27, 187);
```

```

//Botão aumentar instensidade de luz
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (171, 170, 221, 220);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("+", 188, 187);

//Barra de instensidade de luz
y = 32;
for (x=0; x<8; x++)
{
  if(x == 5){
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
  }
  else{
    myGLCD.setColor(169,168,167);
  }
  myGLCD.fillRect (65+(x*13), (170+y), 75+(x*13), 220);
  y = y - 4;
}

//COLUNA DA DIREITA
//Linha
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.drawLine(229,20,229,220);
myGLCD.drawLine(230,20,230,220);
myGLCD.drawLine(231,20,231,220);

//Legenda Ajuste de Campo
myGLCD.setFont(SmallFont);
myGLCD.setBackColor(255, 255, 255);
myGLCD.setColor(0,124,68);
myGLCD.print("CAMPO", 255, 5);
myGLCD.setFont(BigFont);

//Botão Liga/Desliga ajuste de campo automático
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (240, 20, 310, 70);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("AUTO", 243, 37);

//Botão aumenta campo
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (240, 80, 310, 110);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("+", 267, 87);

//Barra de campo
for (y=0; y<5; y++)
{
  if(y==4){
    myGLCD.setColor(0,255,0);
  }
  else{
    myGLCD.setColor(169,168,167);
  }
  myGLCD.fillRect (245, 115+(y*15), 305, 125+(y*15));
}

```

```

}

//Botão diminui campo
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setColor(169,168,167);
myGLCD.fillRoundRect (240, 190, 310, 220);
myGLCD.setColor(255, 255, 255);
myGLCD.print("-", 267, 197);

}

/***** FUNÇÃO BOTÃO PRESSIONADO *****/
void butonpress(int x1, int y1, int x2, int y2)
{
  //Pressionado
  myGLCD.setBackColor(0,124,68);
  myGLCD.setColor(0,124,68);
  myGLCD.fillRoundRect (x1, y1, x2, y2);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.print(b, (x1+17), (y1+17));

  while (myTouch.dataAvailable())
    myTouch.read();

  //Solto
  myGLCD.setBackColor(169,168,167);
  myGLCD.setColor(169,168,167);
  myGLCD.fillRoundRect (x1, y1, x2, y2);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.print(b, (x1+17), (y1+17));
}

void butonpress_campo(int x1, int y1, int x2, int y2)
{
  //Pressionado
  myGLCD.setBackColor(0,124,68);
  myGLCD.setColor(0,124,68);
  myGLCD.fillRoundRect (x1, y1, x2, y2);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.print(b, (x1+27), (y1+7));

  while (myTouch.dataAvailable())
    myTouch.read();

  //Solto
  myGLCD.setBackColor(169,168,167);
  myGLCD.setColor(169,168,167);
  myGLCD.fillRoundRect (x1, y1, x2, y2);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.print(b, (x1+27), (y1+7));
}

/***** FUNÇÃO DE CÁLCULO DO PWM *****/
void calc_pwm() {

  if(!bEndo) {      //se não estiver no modo ENDO

    dut3 = 255;

```

```
switch (lux) {
  case 8:
    dut1 = 0;
    dut2 = 0;
    break;
  case 7:
    dut1 = 29;
    dut2 = 29;
    break;
  case 6:
    dut1 = 58;
    dut2 = 58;
    break;
  case 5:
    dut1 = 89;
    dut2 = 89;
    break;
  case 4:
    dut1 = 116;
    dut2 = 116;
    break;
  case 3:
    dut1 = 145;
    dut2 = 145;
    break;
  case 2:
    dut1 = 174;
    dut2 = 174;
    break;
  case 1:
    dut1 = 203;
    dut2 = 203;
    break;
}

dut1a = dut1;
dut2a = dut2;

switch (cor) {
  case 9:
    dut2a = 255;
    break;
  case 8:
    dut2a = dut2 + ((255 - dut2) * 0.75);
    break;
  case 7:
    dut2a = dut2 + ((255 - dut2) * 0.50);
    break;
  case 6:
    dut2a = dut2 + ((255 - dut2) * 0.25);
    break;
  case 4:
    dut1a = dut1 + ((255 - dut1) * 0.25);
    break;
  case 3:
    dut1a = dut1 + ((255 - dut1) * 0.50);
    break;
  case 2:
    dut1a = dut1 + ((255 - dut1) * 0.75);
```



```

        break;
    case 1:
        dut1a = 255;
        break;
    }

    dut1 = dut1a;
    dut2 = dut2a;
}

else if(bEndo){                //se estiver no modo ENDO

    dut1 = 255;
    dut2 = 255;

    switch (lux) {
        case 8:
            dut3 = 0;
            break;
        case 7:
            dut3 = 29;
            break;
        case 6:
            dut3 = 58;
            break;
        case 5:
            dut3 = 89;
            break;
        case 4:
            dut3 = 116;
            break;
        case 3:
            dut3 = 145;
            break;
        case 2:
            dut3 = 174;
            break;
        case 1:
            dut3 = 203;
            break;
    }
}
}

/***** INICIALIZAÇÃO *****/
void setup()
{
    //Setup inicial

    //inicia serial para debug
    Serial.begin(9600);

    //Inicia LCD
    myGLCD.InitLCD();
    myGLCD.clrScr();

    //Inicia Touch Screen
    myTouch.InitTouch();

```

```

myTouch.setPrecision(PREC_MEDIUM);

//Configurações básicas da tela
myGLCD.fillScr(255,255,255);
myGLCD.setFont(BigFont);
myGLCD.setBackColor(169,168,167);
myGLCD.setContrast(64);
myGLCD.setBrightness(16);
drawButtons();

//Seta modo IN ou OUT para pinos
pinMode(Pwm1, OUTPUT);
pinMode(Pwm2, OUTPUT);
pinMode(Pwm3, OUTPUT);
pinMode(Cvent, OUTPUT);
pinMode(sensor, INPUT);
pinMode(Termo, INPUT);

//Seta valores iniciais para variáveis
bPower = 1;
bEndo = 0;
autofoco = 1;
lux = 6;
cor = 5;
campo = 5;
luxtmp = 6;

//Calcula PWM inicial
calc_pwm();

//Ativa e escreve valor inicial no motor
smotor.attach(motor);
servo_motor();
smotor.write(pos);
}

/***** LOOP PRINCIPAL *****/
void loop()
{
  //Lê os botões
  if (myTouch.dataAvailable())
  {
    myTouch.read();
    x = myTouch.getX();
    y = myTouch.getY();

    if ((y>=20) && (y<=70))
    {
      /***** Botão diminuir temperatura de cor *****/
      if ((x>=10) && (x<=60))
      {
        --cor;      //descrementa a temperatura de cor
        if(cor == 0) {
          ++cor; //não deixa abaixar de 1
        }
      }

      calc_pwm();    //chama a função para calcular o pwm conforme o lux e cor atual
    }
  }
}

```

```

//Entradas para acionamento do botão
b="-";
butonpress(10, 20, 60, 70);
}

/***** Botão aumentar temperatura de cor *****/
if ((x>=171) && (x<=221))
{
  ++cor;      //incrementa a temperatura de cor
  if(cor == 10) {
    --cor;    //não deixa passar de 9
  }
  calc_pwm();    //chama a função para calcular o pwm conforme o lux e cor atual

//Entradas para acionamento do botão
b="+";
butonpress(171, 20, 221, 70);
}
}

if ((y>=95) && (y<=145))
{
/***** Botão Liga *****/
if ((x>=30) && (x<=90))
{
  if(bPower){
    bPower = 0;
    //Button Power
    myGLCD.setBackgroundColor(169,168,167);
    myGLCD.setColor(169,168,167);
    myGLCD.fillRoundRect (30, 95, 90, 145);
    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
    //Simbolo de Power
    myGLCD.drawCircle (60, 120, 14);
    myGLCD.drawCircle (60, 120, 13);
    myGLCD.drawCircle (60, 120, 12);
    myGLCD.setColor(169,168,167);
    myGLCD.fillRect (55, 95, 65, 120);
    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
    myGLCD.fillRect (59, 101, 61, 116);
    //LED Power
    myGLCD.setColor(169,168,167);
    myGLCD.fillRect (10, 100, 20, 140);
    while (myTouch.dataAvailable())
      myTouch.read();
  }
  else{
    bPower = 1;
    //Button Power
    myGLCD.setBackgroundColor(0,124,68);
    myGLCD.setColor(0,124,68);
    myGLCD.fillRoundRect (30, 95, 90, 145);
    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
    //Simbolo de Power
    myGLCD.drawCircle (60, 120, 14);
    myGLCD.drawCircle (60, 120, 13);
    myGLCD.drawCircle (60, 120, 12);
    myGLCD.setColor(0,124,68);
    myGLCD.fillRect (55, 95, 65, 120);
  }
}
}

```

```

    myGLCD.setColor(255, 255, 255);
    myGLCD.fillRect (59, 101, 61, 116);
    //LED Power
    myGLCD.setColor(255, 255, 0);
    myGLCD.fillRect (10, 100, 20, 140);
    while (myTouch.dataAvailable())
        myTouch.read();
}
calc_pwm();
}

/***** Botão Endo *****/
if ((x>=151) && (x<=221))
{
    if(bEndo){
        bEndo = 0;
        //Button Endo
        myGLCD.setBackColor(169,168,167);
        myGLCD.setColor(169,168,167);
        myGLCD.fillRoundRect (151, 95, 221, 145);
        myGLCD.setColor(255, 255, 255);
        myGLCD.print("ENDO", 154, 112);
        //LED Endo
        myGLCD.setColor(169,168,167);
        myGLCD.fillRect (131, 100, 141, 140);
        while (myTouch.dataAvailable())
            myTouch.read();
    }
    else{
        bEndo = 1;
        //Button Endo
        myGLCD.setBackColor(0,124,68);
        myGLCD.setColor(0,124,68);
        myGLCD.fillRoundRect (151, 95, 221, 145);
        myGLCD.setColor(255, 255, 255);
        myGLCD.print("ENDO", 154, 112);
        //LED Endo
        myGLCD.setColor(0, 255, 0);
        myGLCD.fillRect (131, 100, 141, 140);
        while (myTouch.dataAvailable())
            myTouch.read();
    }
    calc_pwm();
}
}

if ((y>=170) && (y<=220))
{
    /***** Botão aumentar intensidade luminosa *****/
    if ((x>=10) && (x<=60))
    {
        --lux;          //decrementa a luminosidade
        if(lux == 0) {
            ++lux; //não deixa abaixar de 1
        }
    }

    calc_pwm();      //chama a função para calcular o pwm conforme o lux e cor atual
    luxtmp = lux;    //grava na variável temporária
}
}

```

```

//Entradas para acionamento do botão
b="-";
butonpress(10, 170, 60, 220);
}

/***** Botão diminuir intensidade luminosa *****/
if ((x>=171) && (x<=221))
{
  ++lux;      //incrementa a luminosidade
  if(lux == 9) {
    --lux;    //não deixa passar de 8
  }

  calc_pwm();    //chama a função para calcular o pwm conforme o lux e cor atual
  luxtmp = lux;  //grava na variável temporária

//Entradas para acionamento do botão
b="+";
butonpress(171, 170, 221, 220);
}
}

if ((x>=240) && (x<=310))
{
/***** Botão Liga/Desliga ajuste de campo automático *****/

//Se está ligado, desliga
if(autofoco){
  autofocus = 0;
  myGLCD.setBackColor(169,168,167);
  myGLCD.setColor(169,168,167);
  myGLCD.fillRoundRect (240, 20, 310, 70);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.print("AUTO", 243, 37);

  while (myTouch.dataAvailable())
    myTouch.read();
}

//Se está desligado, liga
else{
  autofocus = 1;
  myGLCD.setBackColor(0,124,68);
  myGLCD.setColor(0,124,68);
  myGLCD.fillRoundRect (240, 20, 310, 70);
  myGLCD.setColor(255, 255, 255);
  myGLCD.print("AUTO", 243, 37);

  while (myTouch.dataAvailable())
    myTouch.read();
}

/***** Botão aumentar campo *****/
if ((y>=80) && (y<=110))
{
  --campo;      //descrementa a temperatura de cor
  if(campo == 0) {
    ++campo;    //não deixa abaixar de 1
  }
}
}

```

```

}

//Entradas para acionamento do botão
b="+";
butonpress_campo(240, 80, 310, 110);
}

/***** Botão diminuir campo *****/
if ((y>=190) && (y<=220))
{
  ++campo;          //incrementa a temperatura de cor
  if(campo == 6) {
    --campo;        //não deixa passar de 5
  }
}

//Entradas para acionamento do botão
b="-";
butonpress_campo(240, 190, 310, 220);
}
}

//Atualiza barra de temperatura de cor
y = 32;
for (x=0; x<8; x++)
{
  if(bPower && !bEndo && x<4 && (x==cor-1)){
    myGLCD.setColor(255, 122, 0);
  }
  else if(bPower && !bEndo && x==4 && x==cor-1){
    myGLCD.setColor(255, 122, 0);
    myGLCD.fillRect (65+((x-1)*13), (20+(y+4)), 75+((x-1)*13), 70);
    myGLCD.setColor(255, 255, 0);
    myGLCD.fillRect (65+(x*13), (20+y), 75+(x*13), 70);
  }
  else if(bPower && !bEndo && x==4 && (x==cor-2)){
    myGLCD.setColor(255, 255, 0);
  }
  else if(bPower && !bEndo && x>4 && (x==cor-2)){
    myGLCD.setColor(255, 255, 0);
  }
  else{
    myGLCD.setColor(169,168,167);
  }
  myGLCD.fillRect (65+(x*13), (20+y), 75+(x*13), 70);
  y = y - 4;
}

//Atualiza a barra de intensidade de luz
y = 32;
for (x=0; x<8; x++)
{
  if(bPower && (x==lux-1)){
    myGLCD.setColor(0, 255, 0);
  }
  else{
    myGLCD.setColor(169,168,167);
  }
  myGLCD.fillRect (65+(x*13), (170+y), 75+(x*13), 220);
}

```

```

    y = y - 4;
}

//Atualiza a barra de campo
for (y=0; y<5; y++)
{
    if(bPower && (y==campo-1)){
        myGLCD.setColor(0, 255, 0);
    }
    else{
        myGLCD.setColor(169,168,167);
    }
    myGLCD.fillRect (245, 115+(y*15), 305, 125+(y*15));
}
}

/***** Leitura do sensor *****/
read_sensor();
//print para debug
Serial.print("distancia: ");
Serial.println(dist);

/***** Atuação do motor *****/
posant = pos;
servo_motor();

//Função para não incrementar mais do que 1 grau por varredura e evitar movimentos bruscos
if((pos - posant) > 1){
    pos = posant + 1;
}
else if((posant - pos) > 1){
    pos = posant - 1;
}

smotor.write(pos); //escreve ângulo no motor

//print para debug
Serial.print("angulo: ");
Serial.println(pos);

/***** Acionamentos *****/
//Ligado
if(bPower) {
    digitalWrite(Cvent, HIGH);    //liga ventilador
}

//Desligado
else {
    digitalWrite(Cvent, LOW);    //desliga ventilador
    lux = 6;
    cor = 5;
    bEndo = 0;    //desativa o bit de endo
}

myGLCD.setBackColor(255,255,255);
myGLCD.setColor(0,0,0);

//Se estiver ligado e sem endo

```

```

    if (bPower && !bEndo) {
        analogWrite(Pwm1, dut1); //Liga o PWM 1 para os LEDs brancos com o duty cycle
calculado
        delay(50);
        analogWrite(Pwm2, dut2); //Liga o PWM 2 para os LEDs amarelos com o duty cycle
calculado
        delay(50);
        analogWrite(Pwm3, 255); //Liga o PWM 2 para os LEDs amarelos com o duty cycle
calculado
        delay(50);
    }

    //Se a luz endo foi ativada
    else if (bPower && bEndo) {
        analogWrite(Pwm1, 255); //Liga o PWM 2 para os LEDs amarelos com o duty cycle
calculado
        delay(50);
        analogWrite(Pwm2, 255); //Liga o PWM 2 para os LEDs amarelos com o duty cycle
calculado
        delay(50);
        analogWrite(Pwm3, dut3); //Liga o PWM 3 para os LEDs verdes
        delay(50);
    }

    //Se estiver desligado e sem endo
    else {
        analogWrite(Pwm1, 255); //Liga o PWM 2 para os LEDs amarelos com o duty cycle calculado
        delay(50);
        analogWrite(Pwm2, 255); //Liga o PWM 2 para os LEDs amarelos com o duty cycle calculado
        delay(50);
        analogWrite(Pwm3, 255); //Liga o PWM 2 para os LEDs amarelos com o duty cycle calculado
        delay(50);
    }

    //Se o termostato está em curto (sobreaquecimento)
    if (digitalRead(Termo)) {
        lux = 2; //intensidade luminosa = 2
    }

    calc_pwm(); //para atualizar periodicamente o pwm

    cont8++; //time-out da serial
    if (cont8 == 250) { //se atingiu o temp máximo
        cont8 = 0;
        next_in = 0; //zera o buffer da serial
    }
}

```

Fonte: autoria própria