

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE DE GUAÍBA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA EM SISTEMAS DIGITAIS

TIARAJÚ MATHYAS GUERREIRO

DESENVOLVIMENTO DE UM MICROSCÓPIO ÓPTICO DIGITAL

GUAÍBA

2011

TIARAJÚ MATHYAS GUERREIRO

DESENVOLVIMENTO DE UM MICROSCÓPIO ÓPTICO DIGITAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia em Sistemas Digitais na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Prof.^a Dr.^a Leticia Vieira Guimarães
Orientadora

GUAÍBA

2011

TIARAJÚ MATHYAS GUERREIRO

DESENVOLVIMENTO DE UM MICROSCÓPIO ÓPTICO DIGITAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia em Sistemas Digitais na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Aprovado em ___/___/_____

BANCA EXAMINADORA:

Prof.

Prof.

Prof.

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos que buscam soluções viáveis para problemas do cotidiano.

Agradecimentos

Aos meus pais, por proporcionarem condições para realização dos meus estudos e serem os grandes responsáveis pelo que sou hoje.

Aos colegas e professores pelo conhecimento compartilhado, especialmente a minha orientadora Letícia Vieira Guimarães.

A Miguel Julio Zadoreski Junior, pelas dicas na construção mecânica do microscópio ótico.

A Leonardo Bordgnon Ceolin, pelo auxílio na construção de placas de circuito impresso.

A Miguel Mathyas, por compartilhar os equipamentos de marcenaria.

A Bruna Pereira de Mattos, pela dedicação em ler e reler o projeto escrito, sempre sugerindo novas correções.

E finalmente, mas não menos importantes, todos os demais amigos que colaboraram para tornar possível minha formação.

Resumo

Este projeto trata da construção de um microscópio óptico digital utilizando componentes removidos de uma unidade leitora de CD (*Compact Disc*) e uma webcam. Além disso, foram desenvolvidos um circuito eletrônico e um programa de computador. O programa é responsável pela aquisição e processamento das imagens capturadas, enquanto o circuito controla o ajuste de foco e brilho do microscópio. Muitas pessoas desejam utilizar os microscópios em seus lares para pesquisas autônomas, porém o preço deste equipamento pode ser um grande empecilho. Pelo mesmo motivo, várias escolas não possuem este aparelho, e as aulas de ciências tendem a ser puramente teóricas. Para esses e outros casos, este projeto surge como solução. O desenvolvimento deste protótipo de microscópio envolve conhecimentos de óptica, mecânica, eletrônica, controle, comunicação de dados, software e processamento de imagens, portanto trata-se de um projeto multidisciplinar e desafiador. Apesar de ser um trabalho acadêmico, este texto foi escrito de forma que pessoas interessadas possam ler e construir seus próprios microscópios, além de incrementar outras funcionalidades não desenvolvidas neste projeto.

Palavras-Chave: Microscópio, CD, Webcam.

Abstract

This project is the construction of a digital optical microscope using units removed from a CD (Compact Disc) reader and a webcam. In addition, it was developed an electronic circuit and a computer program. The program is responsible for acquiring and processing of captured images, while the circuit is responsible for to control focus adjustment and brightness of the microscope. Many people want to use microscopes in their homes for search, but this equipment can be very expensive. For the same reason, many schools do not have a microscope, and science classes tend to be purely theoretical. For these and other cases, this project is a solution. The development of this prototype microscope involves knowledge of optics, mechanics, electronics, control theory, data communication, software and image processing, so it's a multidisciplinary project and challenging. Despite being an academic work, this text was written so that interested people can read and build their own microscopes and add other functionality not developed in this project.

Keywords: Microscope, CD, Webcam.

Lista de figuras

Figura 1 – Componentes do microscópio óptico	17
Figura 2 – Física do sistema óptico de lentes do microscópio	20
Figura 3 – Grão de Pólen sob boa luminosidade e fraca luminosidade	21
Figura 4 – Grão de pólen no foco e fora de foco	22
Figura 5 – Grão de pólen com boa resolução e com baixa resolução.....	22
Figura 6 – Grão de pólen com bom contraste e com contraste ruim.....	23
Figura 7 – Leitor de CD	24
Figura 8 – Webcam usada no projeto	25
Figura 9 – Microcontrolador PIC18F4550	26
Figura 10 – Motor CC.....	26
Figura 11 – Arquitetura do Projeto do Microscópio Óptico Digital	37
Figura 12 - Lente do Leitor de CD sendo removida.....	38
Figura 13 – Lente de leitor de CD	39
Figura 14 - Sistema responsável pelo movimento da lente.....	39
Figura 15 - Sensor de fim de curso em um leitor de CD	40
Figura 16 - Anexando a lente objetiva a frente da webcam	41
Figura 17 - Lente fixada sobre a webcam plastificada	41
Figura 18 – Microscópio Simples	43
Figura 19 - Modelo 3-D do microscópio	44
Figura 20 - Modelo de microscópio feito de madeira.....	45
Figura 21- Suporte à lâmina com grampos	45
Figura 22 - LEDs superiores para reflexão de luz (ao lado da lente objetiva)	48
Figura 23 - LEDs Inferiores para transmissão de luz (base do microscópio)	48
Figura 24 - Conjunto lente-webcam e sensores de fim de curso	49

Figura 25 - Diagrama de blocos do sistema de controle do microscópio	50
Figura 26 – Esquemático Desenvolvido	52
Figura 27 - Associando um componente a seu respectivo módulo	54
Figura 28 - Exemplo do uso de Jumper em uma PCB	56
Figura 29- Layout da PCB desenvolvida	57
Figura 30 - Projeção em 3-D da PCB.....	57
Figura 31 - PCB gerada (face de cobre)	58
Figura 32 - PCB gerada (face superior)	59
Figura 33 – PCB Finalizada.....	59
Figura 34 - Microscópio com os componentes eletrônicos.....	60
Figura 35- Diagrama de Casos de Uso do Software	61
Figura 36 - Abstração fornecida pelo Marvin Framework.....	62
Figura 37 - Comunicação PC com Microcontrolador.....	64
Figura 38 - Microscópio conectado a um computador.....	67
Figura 39 – Amostra de cebola sob luz natural.....	68
Figura 40 – Amostra de cebola sob luz artificial.....	69
Figura 41 - Amostra de cebola através do filtro de borda.....	70
Figura 42 - Amostra de cebola através do filtro de inversão de cores.....	70
Figura 43 - Inseto através do filtro de detecção de movimentos.....	71
Figura 44 - Histogramas em escala de cinza e escala RGB.....	72

Lista de abreviaturas

2-D – Duas Dimensões

3-D – Três Dimensões

ANSI - American National Standards Institute

API – Application Programming Interface

CC - Corrente Contínua

CD - Compact Disc

CI – Circuito Integrado

DLL – Dynamic Linked Library

DNA - Ácido desoxirribonucléico

E/S – Entrada e Saída

GND – Ground

GUI – Graphical User Interface

HID – Human Interface Device

IDE - Integrated Development Environment

ISO - International Organization for Standardization

JDK – Java Development Toolkit

JMF – Java Media Framework

JVM – Java Virtual Machine

LED - Light-emitting diode

PC – Personal Computer

PCB – Placa de Circuito Impresso

PDI - Processamento Digital de Imagens

PWM - Pulse Width Modulation

RPM – Rotações por Minuto

RGB – Red-Green-Blue

USB - Universal Serial Bus

VCC – Voltagem Comum de Coletor

Sumário

1. Introdução	14
2. Objetivos	16
3. Conceitos, Ferramentas e Tecnologias	16
3.1 Microscópio.....	17
3.2 Operações do Microscópio Óptico	19
3.3 Leitor de CD.....	23
3.4 Webcam.....	24
3.5 Microcontrolador	25
3.6 Motor de Corrente Contínua	26
3.7 Suite KiCAD.....	27
3.8 Processamento Digital de Imagem	28
3.9 USB	29
3.10 PWM.....	31
3.11 Linguagem de Programação C	31
3.11.1 MPLAB IDE.....	32
3.11.2 Compilador MPLAB C18.....	32
3.11.3 Microchip Application Libraries	33
3.12 Java	33
3.12.1 Swing Framework	33
3.12.2 Marvin Image Processing Framework.....	34
3.12.3 NetBeans IDE	34
4. Desenvolvimento do Projeto.....	36
4.1 Metodologia.....	36

4.2 Módulo Óptico-Mecânico.....	37
4.3 Módulo de Hardware	46
4.3.1 Componentes Eletrônicos.....	46
4.3.2 Componentes Distribuídos.....	47
4.3.3 Componentes da PCB	49
4.4 Módulo de Software	60
4.4.1 Software Desktop.....	61
4.4.2 Software Embarcado no Microcontrolador.....	63
5. Resultados Obtidos	67
6. Implementações Futuras	73
7. Conclusão	74
Referências Bibliográficas	76
(NO CD) Softwares utilizados e arquivos desenvolvidos.....	78

1. INTRODUÇÃO

O microscópio possibilita a investigação de estruturas invisíveis aos olhos. A história do microscópio está associada à história das lentes, já que os primeiros microscópios eram puramente ópticos. Hoje em dia, além dos microscópios ópticos, encontramos diversos tipos de microscópios classificados de acordo com os fenômenos físicos envolvidos, destacando-se os microscópios eletrônicos e acústicos.

Muitos trabalhos científicos fazem uso de microscópios, seja para diagnosticar doenças, ou observar reações químicas e imunológicas. Alguns trabalhos visam a automatização destes processos, que em sua maioria ainda são manuais, e demandam muito tempo com atividades repetitivas, como a contagem de células [2].

Neste trabalho foi desenvolvido um microscópio óptico digital, utilizando uma unidade leitora de CD e uma webcam como componentes principais, além disso, também foram desenvolvidos um software de aquisição e processamento de imagens e um circuito eletrônico para o controle de foco e luminosidade do microscópio.

A execução deste projeto demanda conhecimentos de óptica, mecânica, eletrônica, controle, comunicação de dados, processamento de imagens e programação de microcomputadores e microcontroladores. Por isso, é fundamental a divisão deste trabalho em diversos capítulos.

O primeiro capítulo é composto por esta introdução, que objetiva posicionar o trabalho num determinado contexto e identificar os assuntos relacionados ao mesmo. O segundo capítulo lista os objetivos propostos. O capítulo 3 é dedicado a apresentação dos conceitos, ferramentas e tecnologias. No quarto capítulo é

demonstrado o desenvolvimento do microscópio óptico digital. Os resultados obtidos ficam a cargo do quinto capítulo. Futuras implementações são sugeridas capítulo 6. No sétimo e último capítulo é feita a conclusão do trabalho.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral demonstrar a construção de um microscópio óptico com recursos digitais a partir de componentes reutilizáveis e de baixo custo. Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Implementar a física de um microscópio óptico utilizando a lente de um leitor de CD e uma webcam.
- Criar um suporte de microscópio utilizando materiais de fácil aquisição;
- Desenvolver um sistema de controle digital para os ajustes de foco e brilho;
- Construir um programa de computador que permita o uso do microscópio;
- Aplicar conhecimentos de engenharia de forma multidisciplinar.

3. CONCEITOS, FERRAMENTAS E TECNOLOGIAS

Este capítulo tem por objetivo apresentar alguns conceitos, ferramentas e tecnologias utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

3.1. MICROSCÓPIO

O microscópio é um aparelho utilizado para visualizar estruturas minúsculas, tais como as células¹. Os microscópios são divididos em ópticos e eletrônicos, de acordo com seu funcionamento.

O microscópio óptico funciona com um conjunto de lentes (ocular e objetiva) que ampliam a imagem transpassada por um feixe de luz. A figura 1 destaca uma configuração genérica de um microscópio óptico, que pode ser dividido em parte óptica e parte mecânica [1].

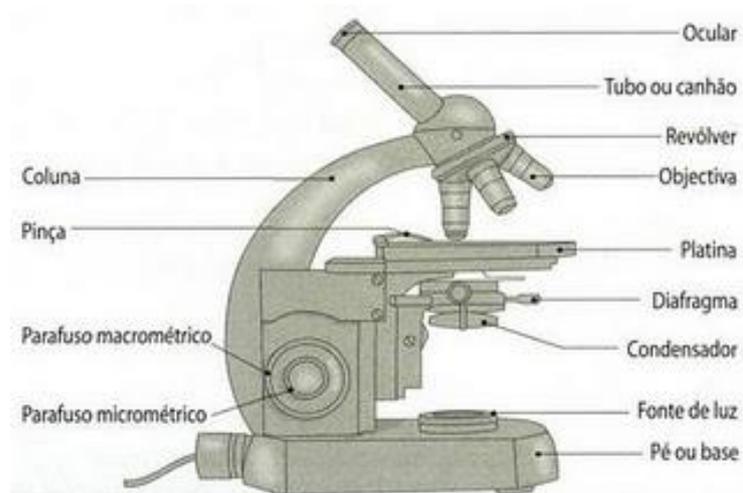


Figura 1 - Componentes do microscópio óptico

Fonte: Ajuda Alunos, 2011 [1]

¹ Menor porção de matéria viva

A parte mecânica é responsável pela estabilidade da parte óptica, e é composta por:

- Pé ou base: serve de apoio aos restantes componentes do microscópio.
- Coluna ou braço: fixo à base, serve de suporte a outros elementos.
- Platina: onde se fixa a lâmina com o espécime a observar. Tem uma janela por onde passam os raios luminosos.
- Pinça: prende a lâmina na platina.
- Tubo: suporta a ocular na extremidade superior.
- Revólver: peça giratória portadora de lentes objetivas de diferentes ampliações.
- Parafuso macrométrico: a sua rotação é responsável por movimentos verticais da platina, rápidos e de grande amplitude.
- Parafuso micrométrico: a sua rotação é responsável por movimentos verticais da platina, lentos e de pequena amplitude, permitem aperfeiçoar a focagem.

Já a parte óptica é formada por:

- Condensador: conjunto de duas ou mais lentes convergentes que orientam e espalham regularmente a luz emitida pela fonte luminosa sobre o campo de visão do microscópio.
- Diafragma: é constituído por palhetas que podem ser aproximadas ou afastadas do centro através de uma alavanca ou parafuso, permitindo regular a intensidade da luz que incide no campo de visão do microscópio.

- **Objetivas:** lentes que permitem ampliar a imagem do objeto 10x, 40x, 50x, 90x ou 100x.
- **Oculares:** sistema de lentes que permite ampliarem a imagem real fornecida pela objetiva, formando uma imagem virtual que se situa a aproximadamente 25 cm dos olhos do observador.
- **Fonte luminosa:** a mais utilizada atualmente é a luz artificial, fornecida por uma lâmpada. Pode-se regular a intensidade da luz emitida.

Também se destacam outros tipos de microscópios, como os eletrônicos que ampliam a imagem por meio de feixes de elétrons, e os por varredura de ponta que trabalham com uma larga variedade de efeitos físicos (mecânicos, ópticos, magnéticos, elétricos). Um tipo especial de microscópio eletrônico de varredura é por tunelamento, capaz de oferecer aumentos de até cem milhões de vezes, possibilitando até mesmo a observação da superfície de algumas macromoléculas, como é o caso do DNA.

3.2. OPERAÇÕES DO MICROSCÓPIO ÓPTICO

A ampliação consiste no grau de aumento da imagem em relação ao objeto. A ampliação total obtida com o microscópio óptico consiste no produto da ampliação da lente objetiva pela ampliação da lente ocular. Esta, sem distorção, não ultrapassa as 1.200x [7].

O sistema óptico é baseado em duas lentes convergentes: a objetiva, dirigida para os objetos, e a ocular, orientada para o olho do observador.

A Figura 2 exemplifica a física envolvida no sistema de lentes do microscópio óptico.

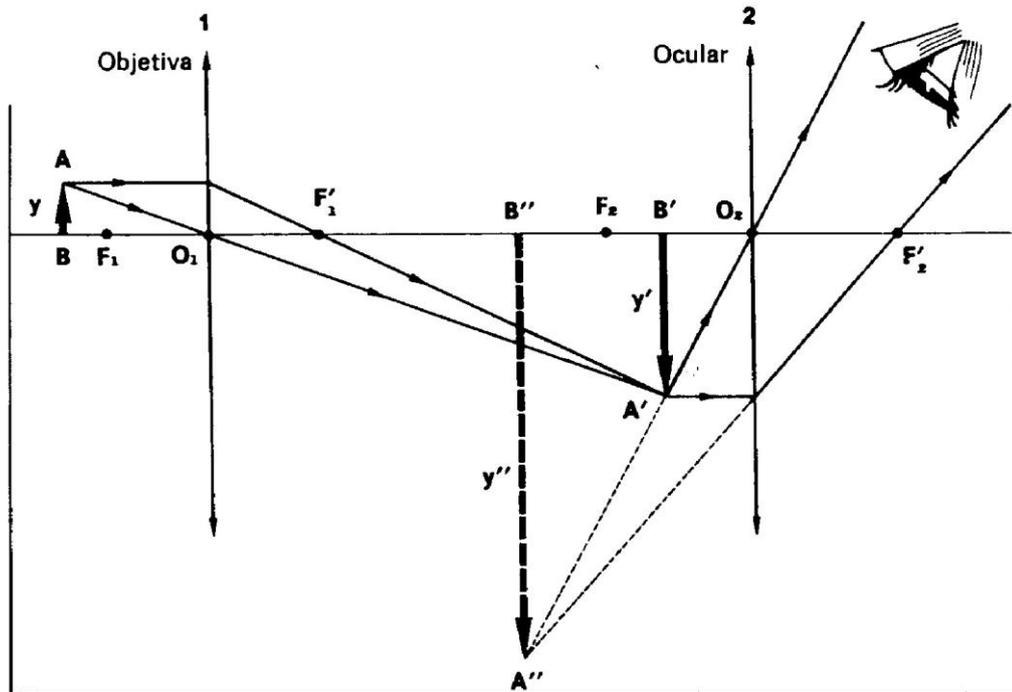


Figura 2 - Física do sistema óptico de lentes do microscópio.

Fonte: Nautilus, 2011 [15]

A objetiva (lente 1), posicionada diante do objeto, forma uma imagem real e ampliada do mesmo. É uma lente de pequena distância focal (da ordem de alguns milímetros). Assim:

AB - objeto real em relação à objetiva.

A'B' - imagem real em relação à objetiva.

A ocular (lente 2) funciona como uma lupa, com distância focal da ordem de alguns centímetros. A imagem fornecida pela objetiva localiza-se entre o foco objeto e o centro óptico da ocular, de modo que a ocular forme uma imagem virtual e ampliada da imagem formada pela objetiva. Isto é:

A'B' - objeto real em relação à ocular.

A''B'' - imagem virtual em relação à ocular (imagem final formada pelo microscópio).

y''/y = ampliação fornecida pelo microscópio.

Matematicamente, a ampliação fornecida pelo microscópio óptico é dada pela seguinte fórmula [23]:

$$A_m = d_0 L / f_{oc} f_{ob}$$

Onde:

A_m: Ampliação fornecida.

d₀: Distância mínima de visão distinta normal.

L: Distância entre a lente objetiva e a ocular.

f_{oc}: Distância focal da lente ocular.

f_{ob}: Distância focal da lente objetiva.

Ao se olhar uma amostra usando um microscópio, a qualidade da imagem é avaliada pelas seguintes características: brilho, foco, resolução e contraste.

O brilho determina a intensidade de luz ou obscuridade da imagem. Isso está relacionado ao sistema de iluminação que pode ser ajustado pela mudança na intensidade de luz.

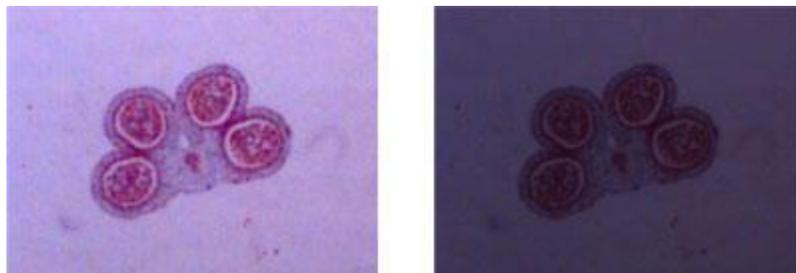


Figura 3 - Grão de Pólen sob boa luminosidade (esquerda) e fraca luminosidade (direita)

O foco determina se a imagem está borrada ou bem definida. Isso está relacionado com a distância focal que pode ser controlado com o sistema de focalização.

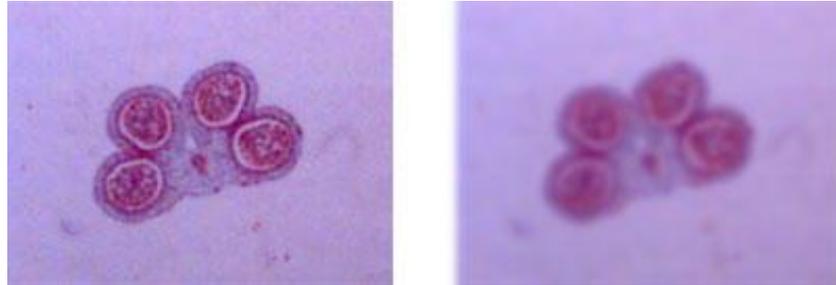


Figura 4 - Grão de pólen no foco (esquerda) e fora de foco (direita)

A resolução determina a distância mínima entre dois pontos na imagem a partir da qual eles passam a ser vistos como um único ponto. Para o microscópio óptico essa distância é de $0,2 \mu\text{m}$ devido ao comprimento de onda das radiações visíveis[7].

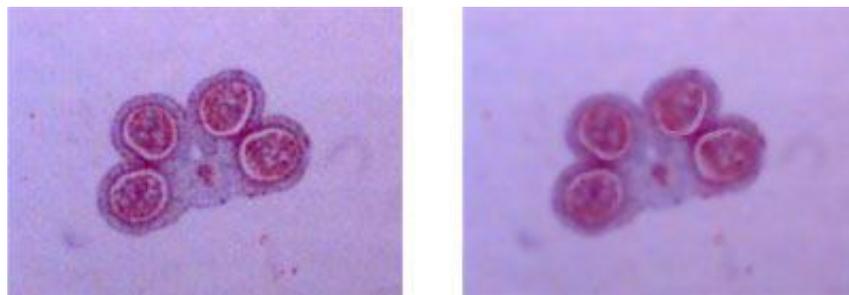


Figura 5 - Grão de pólen com boa resolução (esquerda) e com baixa resolução (direita)

O contraste é determinado pela diferença de luminosidade entre áreas adjacentes do espécime. Isso está relacionado ao sistema de iluminação que pode ser ajustado pela mudança na intensidade de luz. Pode-se também colorir quimicamente o espécime para aumentar o contraste.

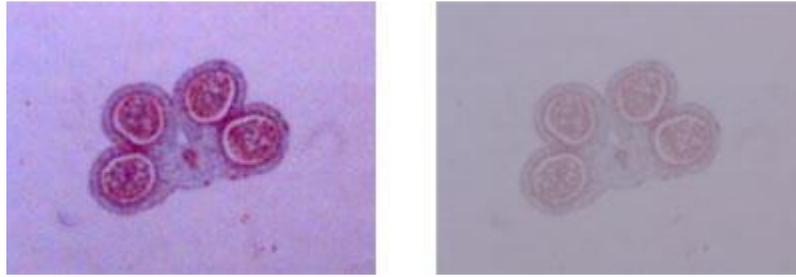


Figura 6 - Grão de pólen com bom contraste (esquerda) e com contraste ruim (direita)

3.3. LEITOR DE CD

A unidade leitora de CD tem o trabalho de localizar e ler os dados armazenados como sulcos nas trilhas de CD. Sulcos possuem 0,5 micrômetros de largura, comprimento mínimo de 0,83 micrômetros e altura de 125 nanômetros. Portanto, este é um equipamento de precisão excepcional.

A unidade consiste de três componentes fundamentais: 1) motor para girar o disco que é controlado com precisão para girar entre 200 e 500 RPM, dependendo de qual trilha é lida; 2) laser e sistema de lentes que focalizam e lêem os sulcos do CD; e 3) mecanismo de rastreamento que move o conjunto do laser para que seu feixe possa acompanhar a trilha espiral, capaz de mover o laser em deslocamentos da ordem de 1 micrômetro.

Devido à grande precisão deste componente, sua lente é ideal para ser usada como objetiva do microscópio óptico, além do mecanismo de rastreamento poder ser usado no ajuste de foco. Neste projeto poderão ser utilizados leitores de CD estragados e preferencialmente de computadores desktop como mostrado na figura 7.



Figura 7 - Leitor de CD

3.4. WEBCAM

A webcam é uma câmera de vídeo de baixo custo que captura imagens e as transfere para um computador. Seu princípio de funcionamento é baseado em um sensor que converte luz em cargas elétricas.

Uma webcam é utilizada neste projeto para atuar como lente ocular e as imagens capturadas são transferidas para um computador pelo barramento USB. A figura 8 exibe a webcam utilizado neste projeto.



Figura 8 – Webcam usada no projeto

3.5. MICROCONTROLADOR

Os microcontroladores são circuitos integrados que têm um processador com menos recursos que o processador de um computador pessoal, pinos de entradas/saídas e memória. Através da programação dos microcontroladores é possível controlar suas saídas, tendo como referência as entradas ou um programa interno.

Neste projeto é utilizado o microcontrolador PIC18F4550 (figura 9) fabricado pela *Microchip Technology Inc.*, que foi escolhido por oferecer suporte à comunicação USB e a modulação por largura de pulso (PWM), muitas vezes inexistentes em outros microcontroladores. Outro fator que levou a escolha deste componente foi a experiência do autor com o mesmo. Contudo, outros microcontroladores poderiam ser utilizados neste projeto desde que ofereçam suporte aos requisitos mencionados.



Figura 9 - Microcontrolador PIC18F4550

Fonte: MICROCHIP, 2011 [13]

3.6. MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

Chamado simplesmente de motor CC, componentes como este estão espalhados por toda a parte e realizam a transformação de energia elétrica em energia mecânica. Seu funcionamento é baseado em eletroímãs, e o sentido de rotação depende da polaridade da tensão aplicada.

Um motor CC existente no leitor de CD será usado neste projeto para realizar o ajuste de foco do microscópio. Estes motores são muito pequenos e suas tensões de trabalho variam de 1 até 10 volts, com corrente entre 17 a 320 miliampéres, dependendo da carga que o motor possui.

A figura 10 exibe o motor removido do leitor de CD que é usado neste projeto.



Figura 10 - Motor CC

3.7. SUITE KICAD

O uso de ferramentas CAD é essencial para o desenvolvimento de módulos eletrônicos e neste contexto foi escolhido o Suite *KiCAD*. Esta ferramenta é um software livre, com código-fonte aberto, assinado com licença GPL – *GNU General Public License Version 2*. Essa suíte é composta por cinco softwares, seus nomes e principais funcionalidades estão detalhados abaixo:

- *EESchema* – Permite criar/editar o esquemático eletrônico do projeto.

- *CvPCB* – Responsável pela vinculação dos componentes do esquemático a seus respectivos módulos (representação física dos componentes).
- *PCBnew* – Editor de Placas de Circuito Impresso. Permite a criação do desenho da placa (trilhas, ilhas, vias, etc).
- *GerbView* – Visualizador de arquivos *Gerb*. Responsável pela visualização de arquivos de fabricação (furação, máscaras, etc.).
- *Bitmap2Component* – Permite criar componentes a partir de bitmaps.

3.8. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

Por Processamento Digital de Imagem entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos [21].

As formas possíveis de manipulação de imagens são teoricamente infinitas. Entretanto, de um modo geral, podem ser categorizadas em um ou mais procedimentos que incluem quatro tipos abrangentes de operações computacionais [21]:

- Retificação e Restauração de Imagens: operações realizadas para minimizar as distorções e degradações dos dados de uma imagem, com a finalidade de criar uma representação mais fiel da cena.
- Realçamento de Imagens: procedimentos aplicados aos dados de uma imagem com o objetivo de melhorar efetivamente a visualização da cena, para subsequente interpretação visual.
- Classificação de Imagens: estas operações têm a finalidade de substituir a análise visual dos dados por técnicas quantitativas de análise automática, visando à identificação das regiões presentes na cena.
- Combinação de Dados (*data merging*): procedimentos utilizados para combinar os dados de uma imagem, referente à certa área geográfica, com outros conjuntos de dados referenciados geograficamente, para a mesma área.

Neste trabalho é utilizada a técnica de detecção de borda para ajustar o melhor foco possível no microscópio.

3.9. USB

Universal Serial Bus (USB) é um dos barramentos mais utilizados para prover comunicação de alta velocidade entre periféricos e o PC. Este barramento será usado pra efetuar a comunicação entre o circuito eletrônico de controle do microscópio e o computador, além de alimentar todos os componentes de controle. A comunicação entre webcam e o computador também é feito através deste barramento.

USB é um barramento serial, composto por quatro fios denominados de terra (GND), VCC (5V), D- e D+. Ele é capaz de prover alimentação de 5 volts aos dispositivos de baixo consumo, suporta altas taxas de comunicação, não há a necessidade de desligar o PC para conectar e desconectar dispositivos USB e suporta até 127 dispositivos.

Esse barramento depende de um protocolo que permite quatro tipos de transferências de dados:

- *Control Transfers*: usado para configurar dispositivos quando são ligados ao barramento pela primeira vez, além de outras aplicações específicas definidas pelo software de controle.
- *Bulk Data Transfers*: usado em transferências de grandes quantidades de dados de forma seqüencial, como impressoras e scanners.

- *Interrupt Data Transfers*: usado por dispositivos que necessitam transmitir e receber pequenas quantidades de dados a uma velocidade baixa, e de tempo em tempo, como mouse e teclado.
- *Isochronous Data Transfers*: usado em transferências de grandes quantidades de dados, com largura de banda e latência de entrega pré-negociada e tolerante a erro como transferência de áudio e vídeo.

Dispositivos com atributos comuns são agrupados dentro de uma classe padronizada e muitos sistemas operacionais já vêm com *drivers* para as classes mais comuns, o que permite que dispositivos USB que pertencem a uma classe padronizada, cujo modo de operação é padrão, possam utilizar esses *drivers* para se comunicar com o computador. Dispositivos como mouses e teclados pertencem à classe HID (*Human Interface Device*) e seus *drivers* são normalmente oferecidos pelos sistemas operacionais.

Neste projeto são utilizados os modos de transmissão de dados do tipo *Interrupt e Isochronous*. O primeiro é usado para a comunicação entre o sistema de controle do microscópio e o PC, através da classe HID, aproveitando-se o *driver* oferecido pelo sistema operacional. O segundo é usado na comunicação entre a webcam e o PC, sendo aproveitado o *driver* fornecido pelo fabricante da webcam.

O protocolo USB possui muitos outros detalhes que não serão descritos neste trabalho, pois necessitariam de um livro inteiro, mas que podem ser encontrados em artigos na internet.

3.10. PWM

Modulação por Largura de Pulso (*Pulse Width Modulation*) é outro conceito importante utilizado neste trabalho, tanto para girar os motores CC quanto para controlar a intensidade luminosa dos LEDs.

Em poucas palavras, PWM é uma técnica que serve para controlar a tensão entregue a uma determinada carga, modificando a largura do pulso do sinal, dentro de um período de tempo pré-fixado. Controlamos o tempo que o sinal permanecerá em nível alto, chamado de *duty cycle*.

3.11. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO C

C é uma linguagem de programação compilada, de propósito geral, estruturada, de alto nível, padronizada pela ISO. É uma das linguagens de programação mais populares e existem poucas arquiteturas para as quais não existem compiladores para C.

Esta linguagem de programação é utilizada para criação do software embarcado no microcontrolador e também para criação de uma biblioteca do sistema operacional *Microsoft Windows XP (DLL)* que abstrai a comunicação USB entre o PC e o microcontrolador.

3.11.1. MPLAB IDE

Fornecido pela *Microchip Technology Inc*, o MPLAB é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), que permite fácil integração com um compilador, além de ser uma ferramenta extremamente poderosa, pois ela gerencia o projeto, compila, simula, depura e grava no chip.

Este IDE oferece suporte à sintaxe da linguagem de programação C, realizando pré-compilação e informando as possíveis instruções com erros de sintaxe.

3.11.2. Compilador MPLAB C18

Fornecido pela *Microchip Technology Inc*, o *MPLAB C18* é um compilador C destinado aos microcontroladores da família PIC18. Suas principais características são:

- É compatível com o padrão ANSI.
- Permite misturar códigos C e Assembly em um único projeto.
- Permite configurar níveis de otimização do código.
- Dispõe de uma vasta biblioteca.

A saída de uma compilação é um arquivo de extensão *.hex* que pode ser gravado na memória de programa do microcontrolador *PIC18F4550*.

3.11.3. Microchip Application Libraries

A *Microchip Technology Inc*, possui um pacote de bibliotecas chamado *Microchip Application Libraries*, cujas bibliotecas podem ser utilizadas em uma grande variedade de aplicações, sendo uma delas para comunicação USB.

3.12. JAVA

Java é uma linguagem de programação orientada a objetos, na qual o código-fonte desenvolvido é compilado gerando um *bytecode*, que por sua vez é executado por uma máquina virtual, a JVM. O JDK é o kit de desenvolvimento composto pelo compilador, interpretador e depurador, sendo necessário para o desenvolvimento nesta linguagem.

A linguagem Java foi escolhida para o desenvolvimento do programa residente no computador, principalmente pela experiência do autor com esta linguagem. Outras linguagens de programação de computadores poderiam ser utilizadas para esse propósito.

3.12.1. Swing Framework

Este framework agrega os principais componentes visuais existentes na programação Java, por exemplo, janelas, menus, botões, etc. A interface gráfica com o usuário deste projeto é construída através deste framework.

3.12.2. Marvin Image Processing Framework

Marvin é um framework de processamento de imagens extensível, multiplataforma e de código-fonte aberto desenvolvido em Java. O framework oferece funcionalidades para:

- Manipular imagens;
- Manipular frames de vídeo;
- Processar imagens utilizando múltiplas threads;
- Estender funcionalidades através de plug-ins;
- Analisar a performance de plug-ins;
- Integrar plug-ins com interfaces gráficas;
- Automação de teste unitário;

Os algoritmos de processamento de imagens são implementados como plug-ins e podem ser acoplados a outros plug-ins ou aplicações de terceiros. Atualmente estão disponíveis dezenas de plug-ins para os mais diferentes propósitos.

Este framework é utilizado no processamento de imagens existentes neste projeto de maneira a abstrair todos os complexos algoritmos desta área.

3.12.3. NetBeans IDE

O *NetBeans* é um IDE gratuito e de código-fonte aberto, para desenvolvedores de software na linguagem Java. Ele fornece uma base sólida para o desenvolvimento de projetos e módulos. Este IDE é utilizado na elaboração da

interface gráfica com o usuário, por possuir recursos adicionais que facilitam o desenvolvimento utilizando o framework *Swing*, definido anteriormente.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Este capítulo descreve a metodologia aplicada ao desenvolvimento do microscópio ótico digital.

4.1. METODOLOGIA

O desenvolvimento do microscópio ótico digital foi dividido em três etapas distintas, que serão realizadas na seguinte seqüência:

- a) Desenvolvimento do módulo ótico-mecânico;
- b) Desenvolvimento do módulo de hardware;
- c) Desenvolvimento do módulo de software.

A arquitetura do microscópio ótico digital é mostrada na figura 11 na forma de camadas. As camadas inferiores oferecem mecanismos necessários para o correto funcionamento das camadas superiores. Todos os elementos que compõem esta arquitetura serão detalhados no decorrer do trabalho.

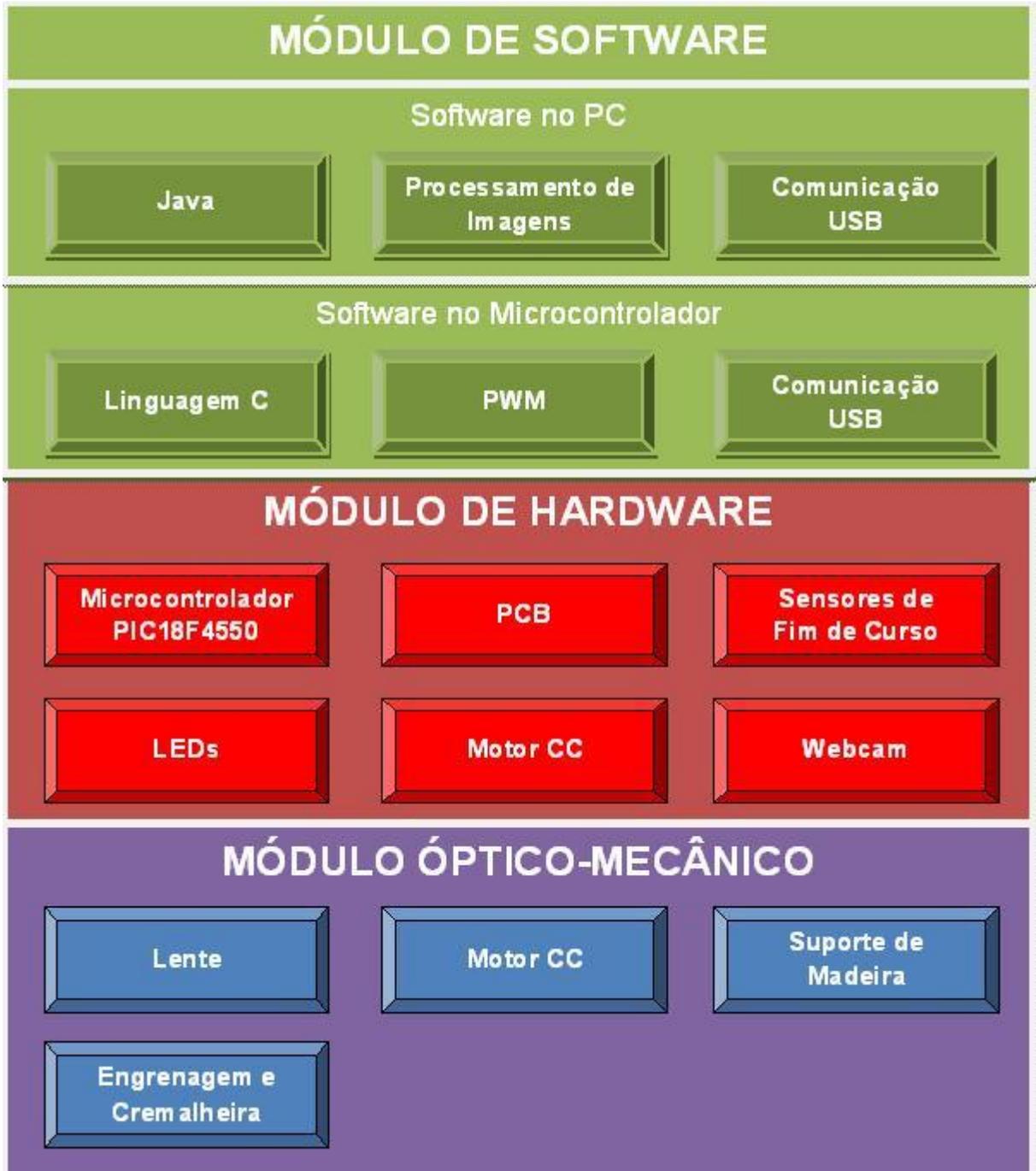


Figura 11 - Arquitetura do Projeto do Microscópio Óptico Digital

4.2. MÓDULO ÓPTICO-MECÂNICO

Inicialmente coletou-se a lente e outros componentes da unidade leitora de CD. Para isso, abriu-se o leitor e cuidadosamente removeu-se a lente objetiva,

exibida na figuras 12 e 13. Estas lentes, além de fácil obtenção, também são muito precisas, já que são utilizadas para ler trilhas de CD-ROM de 0,5 micrometros de largura, o que a torna ideal na construção de um microscópio óptico.

Em seguida, removeu-se o mecanismo de rastreamento do CD, responsável por mover a lente em deslocamento de 1 micrômetro. Esse mecanismo será usado para o ajuste eletrônico de foco do microscópio. Esse sistema é composto por um motor CC, uma engrenagem, uma cremalheira, suporte da lente e barras de curso, conforme visto na figura 14.

Também foram removidos os sensores de fim de curso do leitor de CD (figura 15). Este sensor pode possuir um entre dois valores, dependendo se seus contatos foram pressionados. Seu uso será detalhado mais adiante.

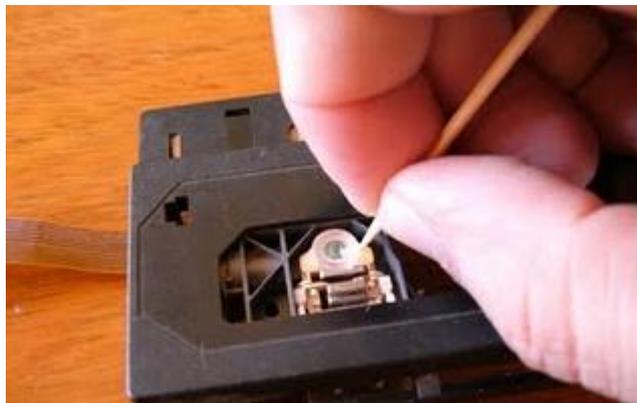


Figura 12 - Lente do Leitor de CD sendo removida

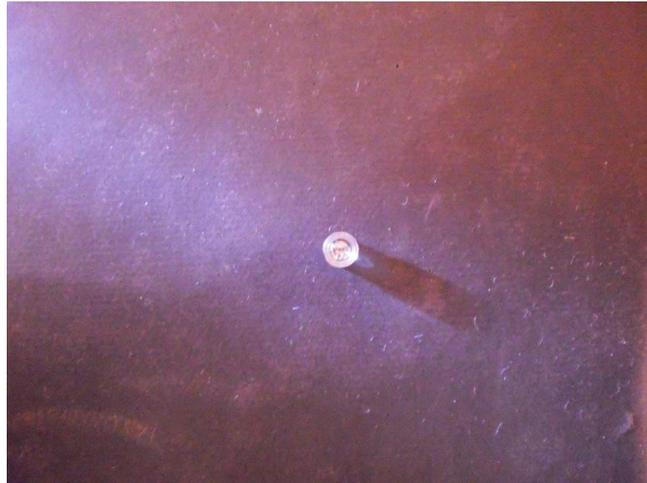


Figura 13 – Lente do leitor de CD

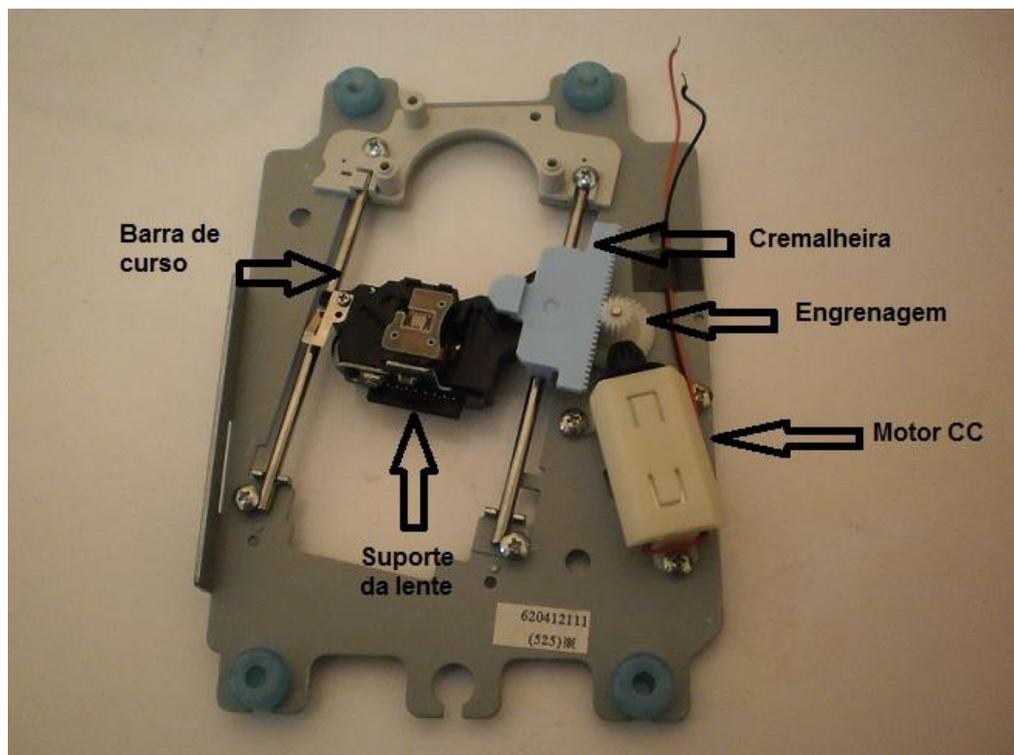


Figura 14 - Sistema responsável pelo movimento da lente

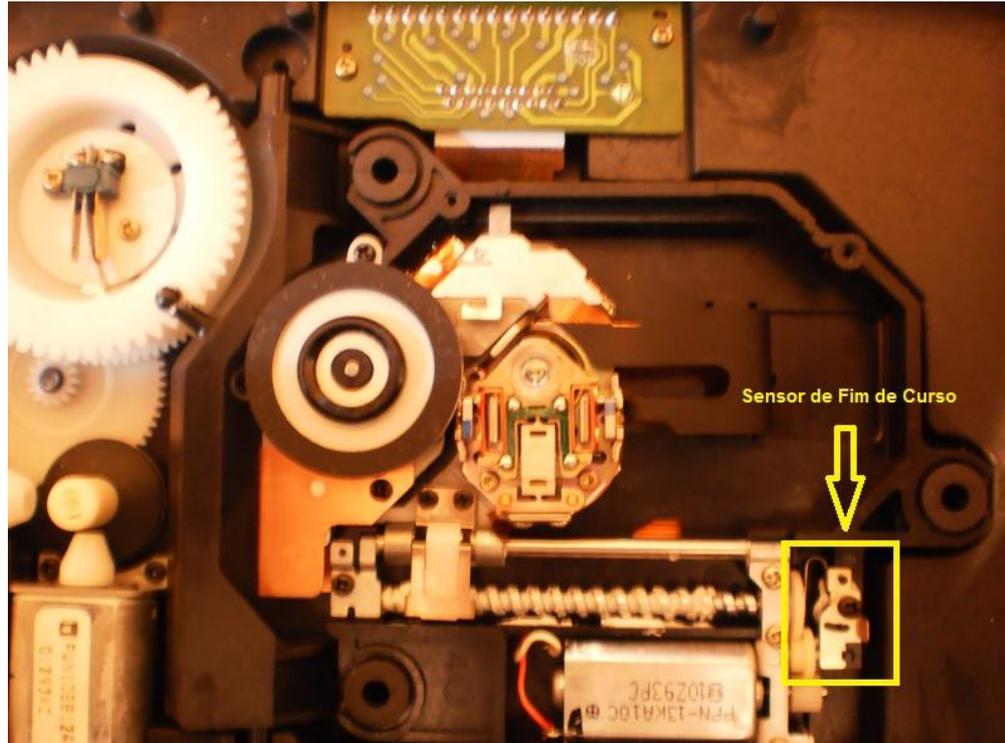


Figura 15 - Sensor de fim de curso em um leitor de CD

Após ter removido estes itens, anexou-se a lente objetiva, removida do leitor de CD, sobre a webcam adquirida. A webcam funcionará como lente ocular do microscópio, então se deve anexar a lente objetiva de forma a ficar muito próxima do sensor de captura da câmera. Por razões dimensionais, foi removido o invólucro da webcam e seu circuito foi isolado com fita adesiva para evitar curtos-circuitos.

Utilizando cola de silicone, anexou-se a lente objetiva na parte frontal da webcam, conforme visto na figura 16 e 17. A distância da lente objetiva ao sensor de captação de imagem da webcam deve ser de alguns centímetros, devido a física envolvida, e implica no tamanho da imagem fornecida.

É importante que o filtro de infravermelho da webcam não seja removido, pois nesse caso a câmera teria seu funcionamento comprometido.

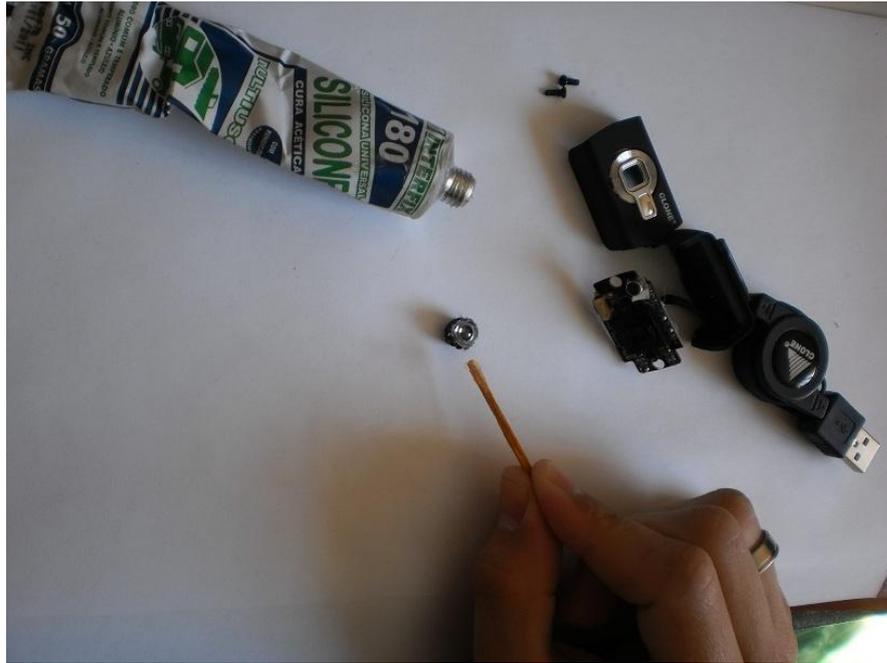


Figura 16 - Anexando a lente objetiva a frente da webcam.



Figura 17 - Lente fixada sobre a webcam plastificada.

A distância entre o sensor de captura da webcam e a lente objetiva é de aproximadamente 7 cm para este caso. A distância focal da lente objetiva é de cerca de 1,2 mm. A distância focal do sensor da webcam é de aproximadamente 50 mm.

E a distância mínima de visão distinta do olho humano é de cerca de 25 cm. Com esses valores temos um aumento de aproximadamente 300x, que pode ser calculado aplicando a seguinte fórmula:

$$A_m = d_0 L / f_{oc} f_{ob} = 250\text{mm} \times 70\text{mm} / 50\text{mm} \times 1,2\text{ mm} = 291,7$$

Com esses passos a essência do microscópio está pronta. Se a webcam for conectada a um computador e aproximada a uma amostra, será possível ver o aumento fornecido. Um exemplo é apresentado na figura 18, onde o sistema é colocado em frente às minúsculas letras de uma pilha AA, e atrás, na tela do computador, a saída da webcam. Neste caso, um grande problema está no controle do foco, pois o menor movimento é suficiente para desfocalizar. Para resolver esta questão foi projetado um modelo mecânico feito de madeira ilustrado na figura 19 utilizando a ferramenta CAD *Google SketchUp*.

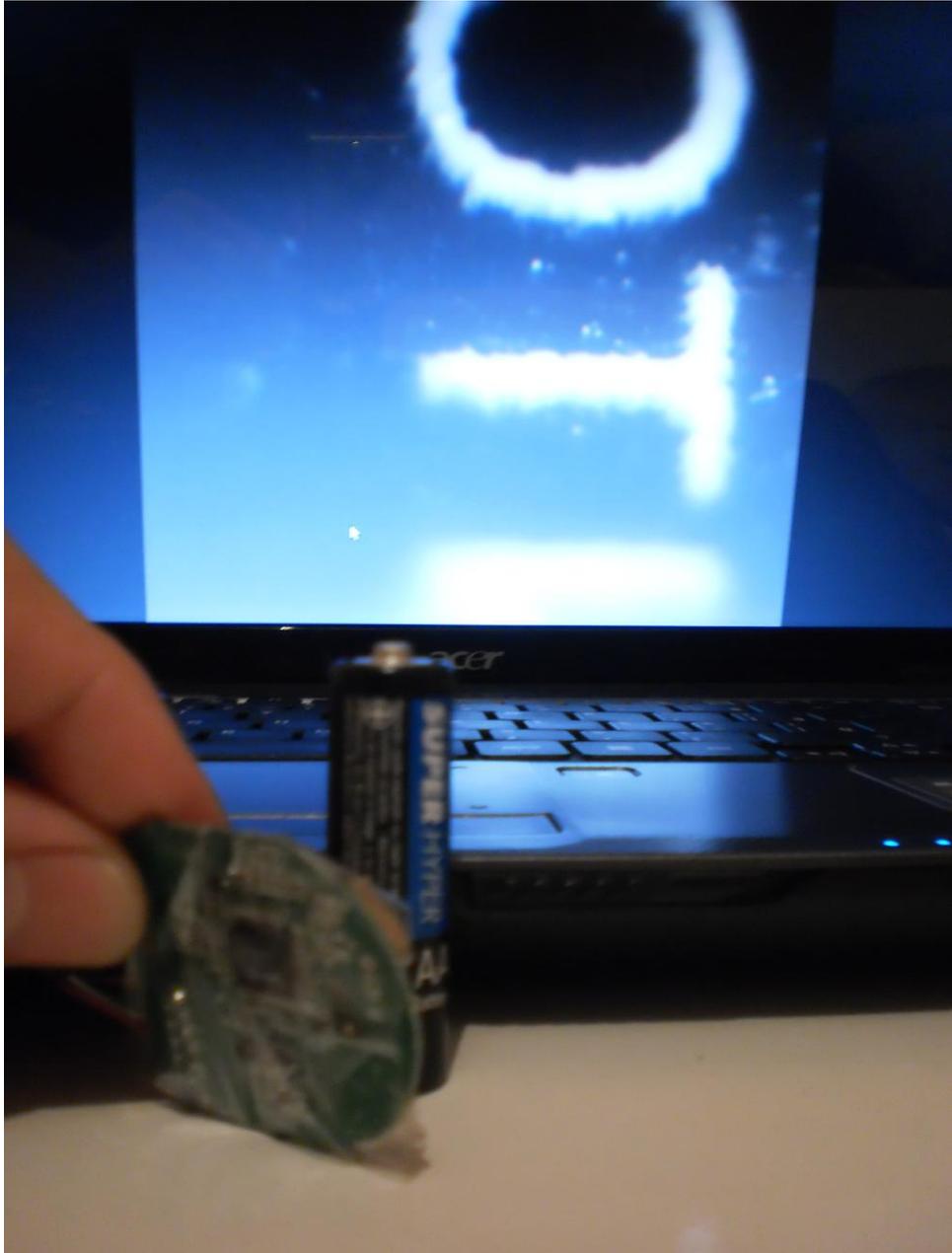


Figura 18 – Microscópio Simples

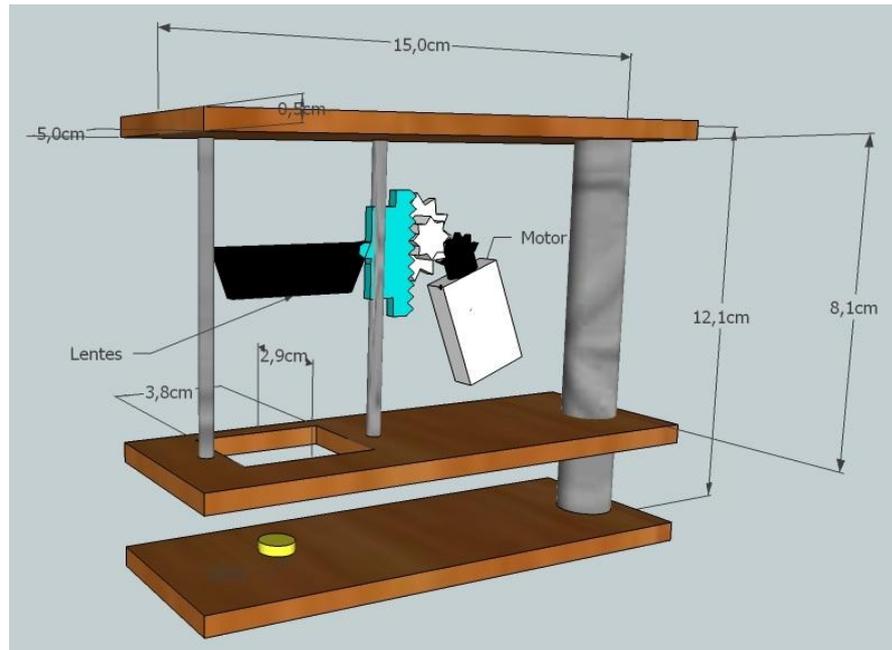


Figura 19 - Modelo 3-D do microscópio

Na elaboração deste modelo optou-se por reaproveitar o sistema de movimento da lente da própria unidade leitora de CD, ou seja, o motor CC, a engrenagem, a cremalheira, as barras de curso e o suporte plástico onde estava a lente. Com base no modelo 3-D da figura 19 foi desenvolvido o suporte de madeira mostrado na figura 20.

Vale salientar que cada leitor de CD possui sua própria arquitetura, tanto mecânica quanto eletrônica, podendo variar o modelo e a disposição dos componentes utilizados. Neste caso, cabe à criatividade para criação da mecânica apropriada.

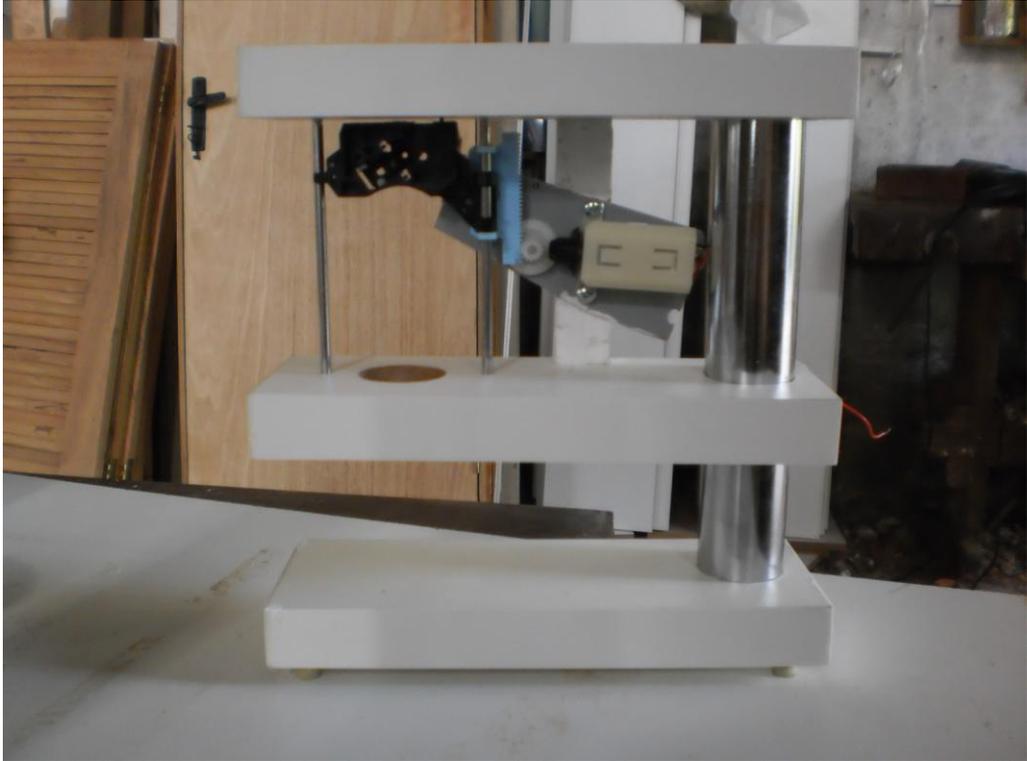


Figura 20 - Modelo de microscópio feito de madeira

Para que a lâmina de vidro possa ser fixada no microscópio, grampos de cabelo foram fixados na parte inferior do microscópio (figura 21). A lâmina deve ser inserida entre os grampos de cabelo.

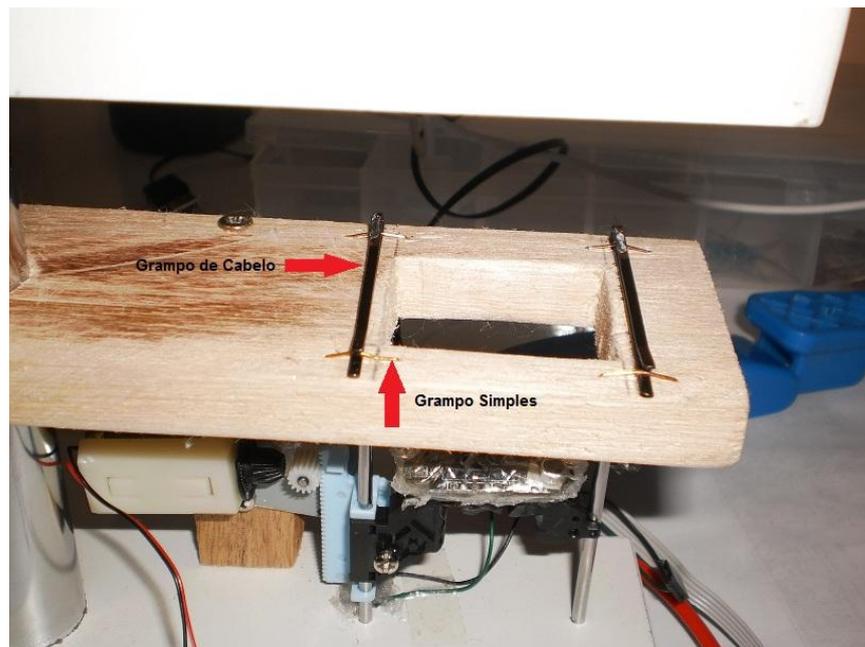


Figura 21- Suporte à lâmina com grampos

4.3. MÓDULO DE HARDWARE

O módulo de hardware está fortemente ligado ao módulo óptico-mecânico e deverá fornecer meios para o controle de foco e luminosidade do microscópio. Portanto, alguns componentes estarão espalhados ao redor do microscópio, chamados de componentes distribuídos, enquanto outros estarão concentrados em uma única placa de circuito impresso (PCB), chamados de componentes da PCB.

4.3.1. Componentes Eletrônicos

Muitos componentes eletrônicos foram utilizados na confecção do circuito eletrônico responsável pelo controle do microscópio. Esses componentes serão listados abaixo e podem ser adquiridos em lojas de componentes eletrônicos ou através da remoção em placas inutilizadas.

- 1 Capacitor de 0,1uF/25V eletrolítico;
- 2 Capacitores de 37pF cerâmicos;
- 3 Capacitores de 100uF de filme de plástico;
- 4 LEDs brancos 5mm;
- 1 LED de qualquer cor;
- 4 Diodos 1N4148;
- 1 Porta USB tipo B fêmea;
- 4 Relés de 2 entradas de 5V;
- 8 Transistores BC639;
- 5 Resistores de 10 k Ω e 1/4w;

- 1 Resistor de 1,5 k Ω e 1/4w;
- 8 Resistores de 2,2 k Ω e 1/4w;
- 1 Cristal oscilador de 20 MHz;
- 1 Botão de dois estados;
- 3 Conectores de duas entradas tipo *bornier*;
- 6 Conectores de dois pinos;
- 1 Microcontrolador *Microchip PIC18F4550*.

4.3.2. Componentes distribuídos

O motor CC é a base para o ajuste de foco, enquanto LEDs irão fornecer a luminosidade apropriada. Dois LEDs brancos foram fixados junto ao sistema de lentes para iluminar um espécime de cima para baixo, para reflexão de luz, conforme a figura 22. Outros dois LEDs foram adicionados na base do microscópio para possibilitar a iluminação de baixo para cima, para transmissão de luz, ilustrado na figura 23.

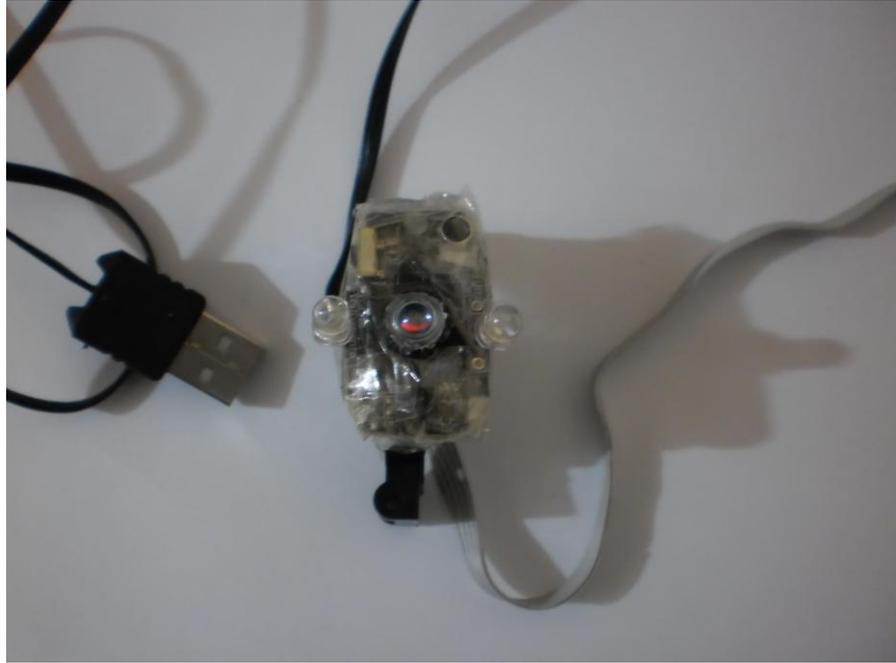


Figura 22 - LEDs superiores para reflexão de luz (ao lado da lente objetiva)



Figura 23 - LEDs Inferiores para transmissão de luz (base do microscópio)

O sistema de lentes foi fixado no suporte do microscópio com cola de silicone. Além disso, sensores de fim de curso, também removidos da unidade leitora de CD, foram fixados no microscópio, com o objetivo de identificar se o conjunto chegou ao fim do percurso (extremo superior ou extremo inferior).

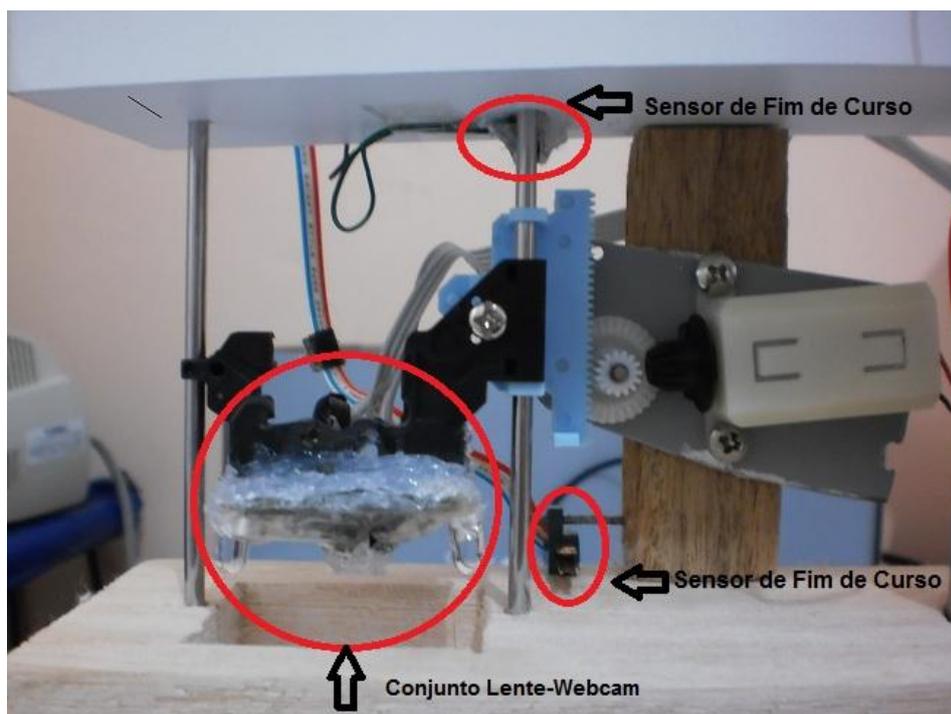


Figura 24 - Conjunto lente-webcam e sensores de fim de curso

4.3.3. Componentes da PCB

O motor CC, os LEDs brancos e os sensores de fim de curso tratam-se dos componentes externos à placa a ser desenvolvida. Nesta placa, o principal componente eletrônico utilizado será o microcontrolador PIC18F4550, responsável pelo controle dos componentes externos, bem como a comunicação com o PC. O diagrama de blocos da figura 25 demonstra o sistema de controle projetado para o microscópio digital.

Neste diagrama é possível compreender a funcionalidade dos principais elementos envolvidos no sistema em nível de hardware. Analisando o diagrama de blocos, nota-se que o usuário interage com o PC informando os comandos necessários para o ajuste desejado no microscópio, por exemplo, ajuste automático ou manual de foco, maior ou menor intensidade luminosa, etc. Estes comandos são

passados para o microcontrolador PIC18F4550 através do barramento USB e um software no microcontrolador processa tais comandos, decidindo como atuar sobre o motor e os LEDs. Os sensores de fim de curso realimentam a microcontrolador informando se alguma das extremidades do percurso de ajuste de foco foi atingida, que por sua vez realimentam o computador repassando essa informação. Por fim, a webcam realimenta o PC com a imagem capturada, somando-se aos comandos inseridos pelo usuário e o status dos sensores de fim de curso.

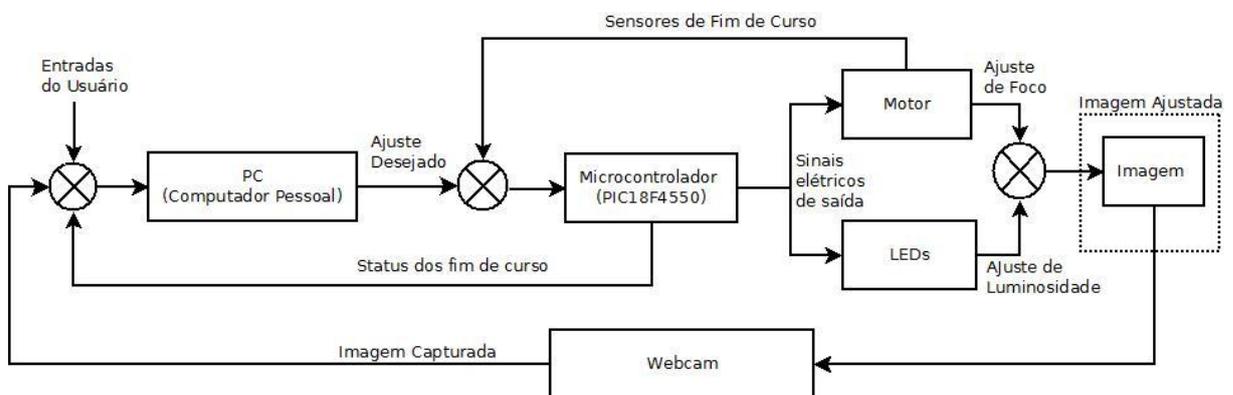


Figura 25 - Diagrama de blocos do sistema de controle do microscópio

Como visto anteriormente, a comunicação entre o microcontrolador PIC18F4550 e o PC será realizada utilizando o barramento USB, assim como a comunicação entre a webcam e o PC. Contudo, cada qual terá sua linha exclusiva de comunicação, ou seja, uma porta USB para o microcontrolador e outra porta USB a webcam. Esta escolha foi feita para tornar possível o reaproveitamento do *driver* da webcam, desenvolvido pelo fabricante da mesma.

Contudo, para que o microcontrolador possa se comunicar com o PC, um circuito eletrônico é necessário. Entre as necessidades que o circuito eletrônico deve fornecer destacam-se as seguintes:

- Gravar o programa no microcontrolador através do barramento USB;

- Transferir os sinais de controle do PC para o microcontrolador através do barramento USB;
- Suporte para até três motores CC (do ajuste de foco, eixo Z, além da previsão de futuras implementações que possam realizar uma varredura bidimensional da imagem, eixos X-Y);
- Sinal PWM para os três motores;
- Sinal PWM para os 4 LEDs responsáveis pelo controle de luminosidade.

Com base em tais critérios foi desenvolvido um esquemático eletrônico através do Suite *KiCAD*. A criação do esquemático é a primeira etapa no desenvolvimento de uma PCB e serve para determinar qual componente deve ser utilizado, além de explicitar aonde e com quem ele vai se conectar. Ao concluir esta etapa, é gerado um *Netlist* onde estão relacionados todos os componentes e suas ligações. Porém, ainda não estão definidos os módulos dos componentes que serão utilizados. A figura 26 ilustra o esquemático desenvolvido no software *EESchema* da Suite *KiCAD*.

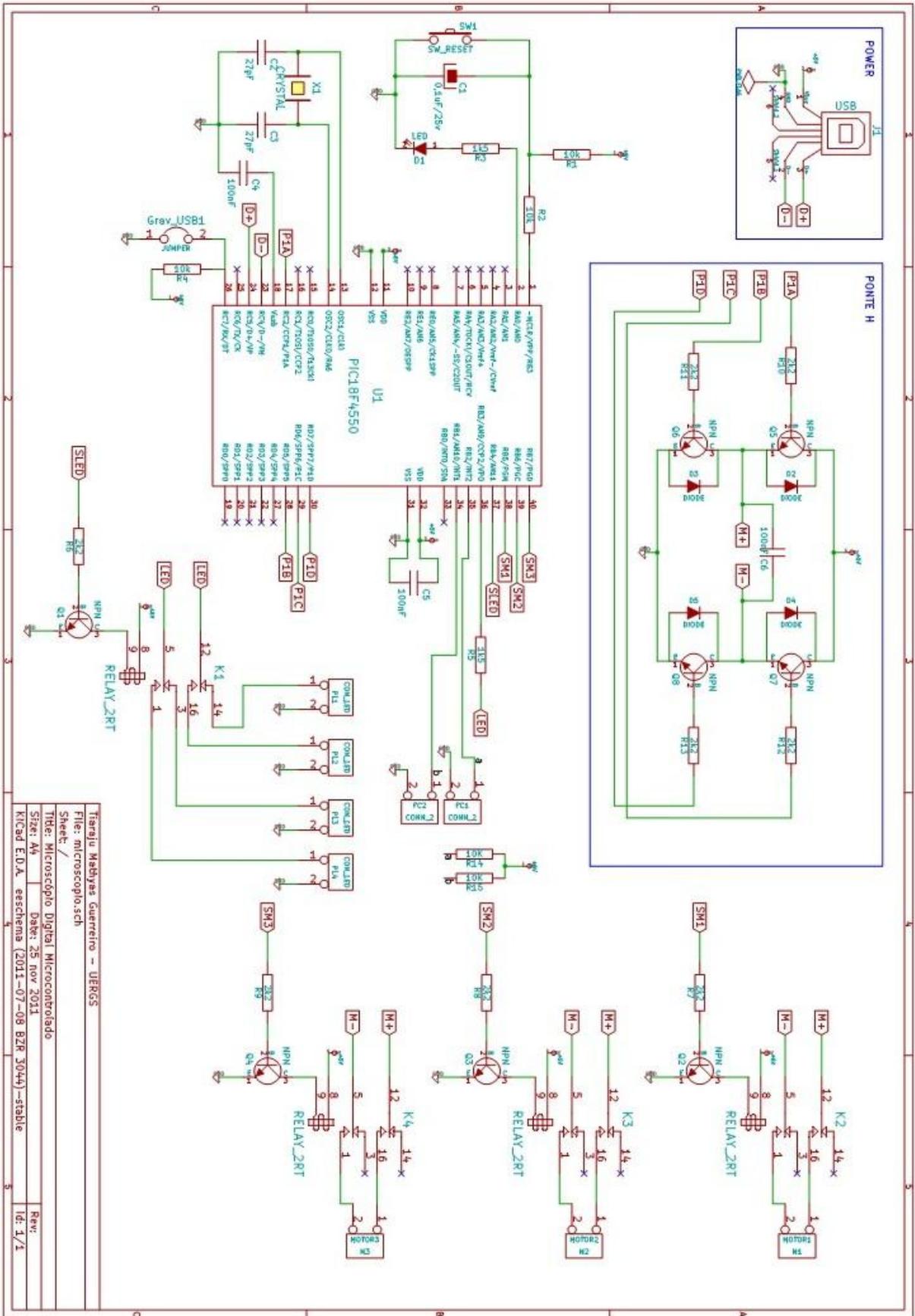


Figura 26 – Esquemático Desenvolvido

No esquemático observam-se características importantes do circuito que serão esclarecidas:

- *Microcontrolador*: O PIC18F4550 é responsável pelo controle dos demais periféricos através de sinais de entrada e saída em seus pinos.
- *Alimentação (Power)*: Todo o circuito é alimentado pelo barramento USB. Esse barramento fornece uma tensão de 5V e uma corrente de até 500mA. Além disso, os pinos D+ e D-, responsáveis pela comunicação USB, estão conectados a pinos específicos do microcontrolador.
- *Relés*: Três relés de duas entradas são usados para chavear o motor a ser alimentado. Por haver um limite na corrente fornecida ao circuito (limite do barramento USB), um único motor pode ser acionado por vez. Um quarto relé é usado para determinar qual par de LEDs será usado para iluminação, superior ou inferior. Todos os relés estão conectados a pinos de E/S² digital do microcontrolador.
- *Ponte H*: Responsável pelo controle dos motores em ambos os sentidos. A ponte H está conectada a pinos específicos do microcontrolador, responsáveis pelo fornecimento de sinal PWM.
- *Conectores de LEDs*: Distribuídos pelo microscópio, os LEDs são selecionados através de um relé e também recebem um sinal PWM, o que torna possível o controle de brilho do LED. Uma porta específica do PIC18F4550 é responsável por este sinal modulado.
- *Botão Reset*: Quando pressionado reinicia o microcontrolador.
- *LED*: Indica se o circuito está operante.

² Entrada e Saída

- *Jumper USB*: Quando fechado, permite a comunicação com o PC para receber um programa.

Após a conclusão do esquemático do circuito, deve-se vincular os módulos aos componentes, ou seja, vincular o componente físico associado a cada elemento do esquemático. Este é um procedimento muito importante e é realizado com o auxílio da ferramenta *CvPCB*, integrante da Suite *KiCAD*. Os módulos escolhidos podem ser visualizados em 2-D e 3-D, dependendo da necessidade do usuário. A figura 27 ilustra a vinculação de um componente com seu respectivo módulo.

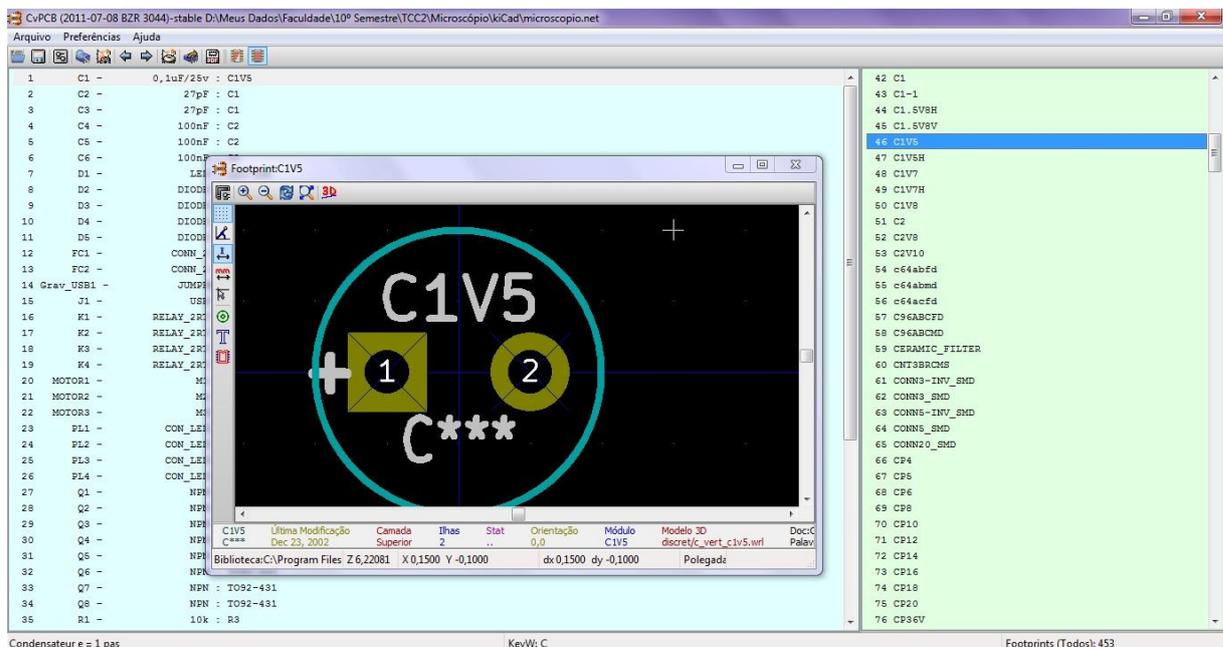


Figura 27 - Associando um componente a seu respectivo módulo.

Ao concluir a associação de todos os componentes com seus respectivos módulos, deve-se gerar novamente a *NetList*, salvando assim as alterações realizadas.

Por fim, podemos criar a PCB através do software *PCBView* da Suite *KiCAD*. Esta etapa é considerada a mais trabalhosa, pois se deve atentar a muitos detalhes.

Ao importar a *Netlist* obtida na etapa anterior, deve-se verificar se todas as dimensões de componentes e distâncias entre furos estão corretas, ou seja, se os módulos selecionados equivalem aos componentes físicos destinados ao projeto. O posicionamento dos componentes na PCB depende da delimitação e da área máxima de placa pretendida para o projeto, que nesse caso é a área superior do suporte do microscópio feito de madeira.

Antes de iniciar o roteamento das trilhas, devem-se determinar as regras do projeto, por exemplo, a largura das trilhas, o espaçamento de isolamento, as dimensões de ilhas e furos, etc. O roteamento pode ser feito de forma manual ou automática, dependendo da complexidade do projeto e da quantidade de faces da placa. Pode-se optar por uma solução ou outra.

Neste projeto, o roteamento foi feito todo de forma manual, por tratar-se de apenas uma face de cobre e pela necessidade de realizar alguns jumps entre as faces de cobre e os componentes. Em determinadas situações, nas quais é inevitável o cruzamento entre trilhas, a alternativa é criar um jump para a camada de cima (componentes) e conduzir o sinal sob a trilha de baixo, posteriormente, retornando para a face de cobre. A figura 28 reproduz a inserção de um jump no desenho da PCB.

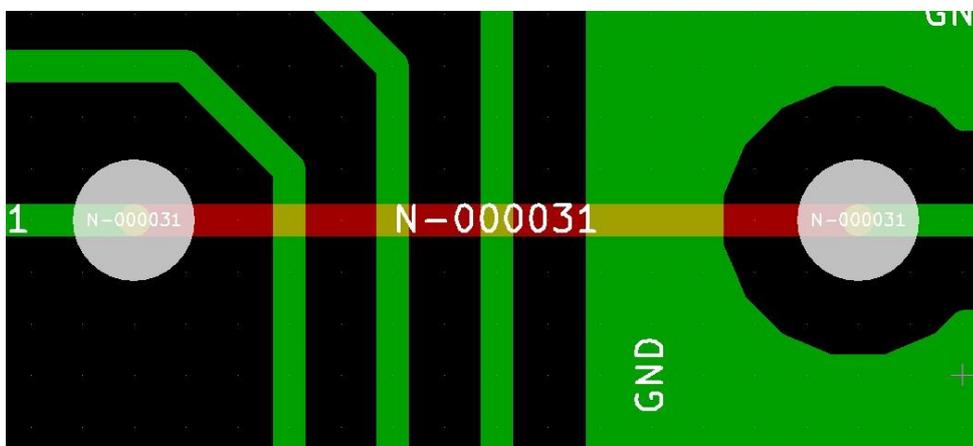


Figura 28 - Exemplo do uso de *jumper* em uma PCB

Os traços na cor verde representam as trilhas de cobre, responsáveis por conduzir os sinais elétricos ao longo de sua extensão. Os pontos em branco indicam que nestas posições existem ligações entre as duas faces da placa (face inferior, cobre; face superior, componente). Geralmente esta interligação é realizada por um furo metalizado, ou seja, é realizado um furo e no seu interior é depositado metal condutor que interliga eletricamente as duas faces. A linha horizontal em vermelho representa uma via na face superior da placa, ou seja, um jump entre as duas camadas.

Por fim, ao concluir o layout da PCB (figura 29), podemos visualizar uma projeção de como a placa ficará após confecção e soldagem dos componentes (Figura 30).

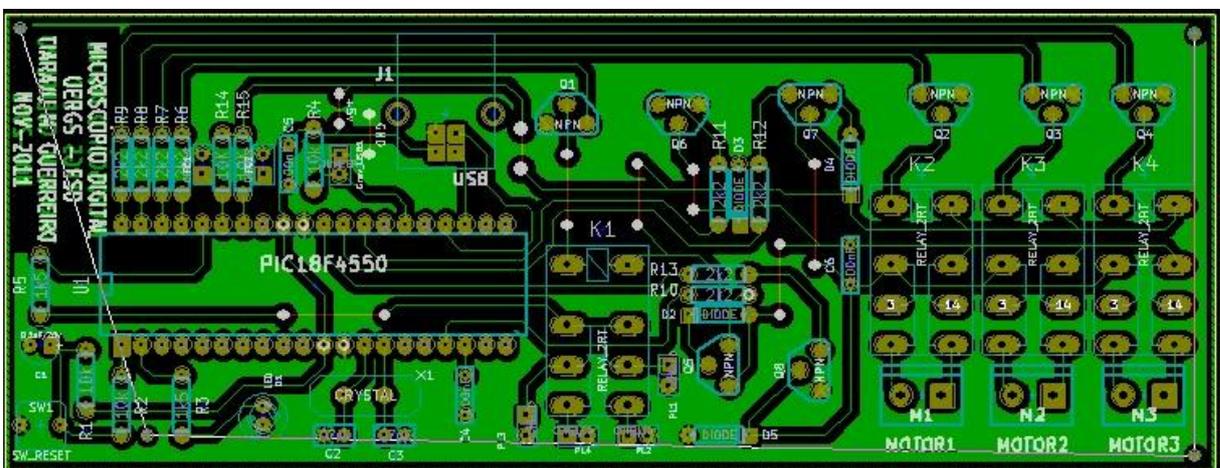


Figura 29- Layout da PCB desenvolvida

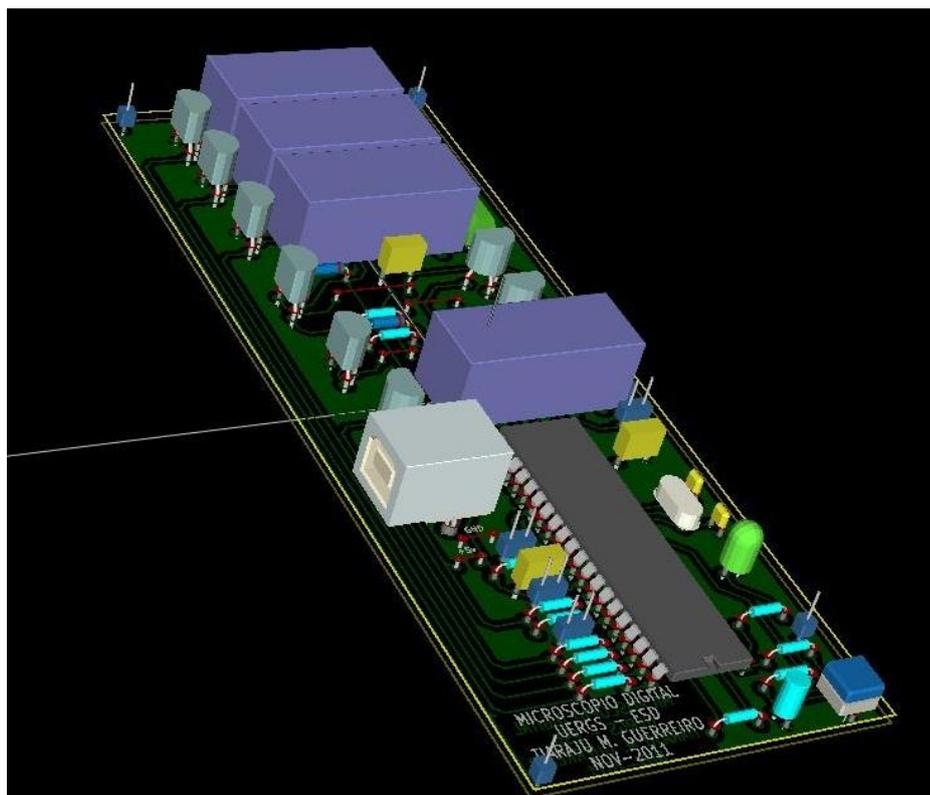


Figura 30 - Projeção em 3-D da PCB

Através do arquivo de layout, foi confeccionada a placa de circuito impresso. Para este projeto a placa foi confeccionada de forma caseira, através do método térmico. Este consiste em transferir a tinta impressa em uma folha de papel para a face de cobre de uma placa virgem. Para isso, utilizou-se uma folha de papel fotográfico e impressão a laser do arquivo de layout gerado anteriormente. A transferência da tinta do papel para a placa ocorre a altas temperaturas, sendo possível com o uso de um ferro de passar roupas por cerca de dez minutos. Após, mergulha-se a placa em uma solução de perclorato de ferro, até que toda a área sem tinta na face de cobre seja corroída. Por fim, remove-se a tinta usando uma esponja de aço. A figura 31 exhibe como ficará a placa após este processo.

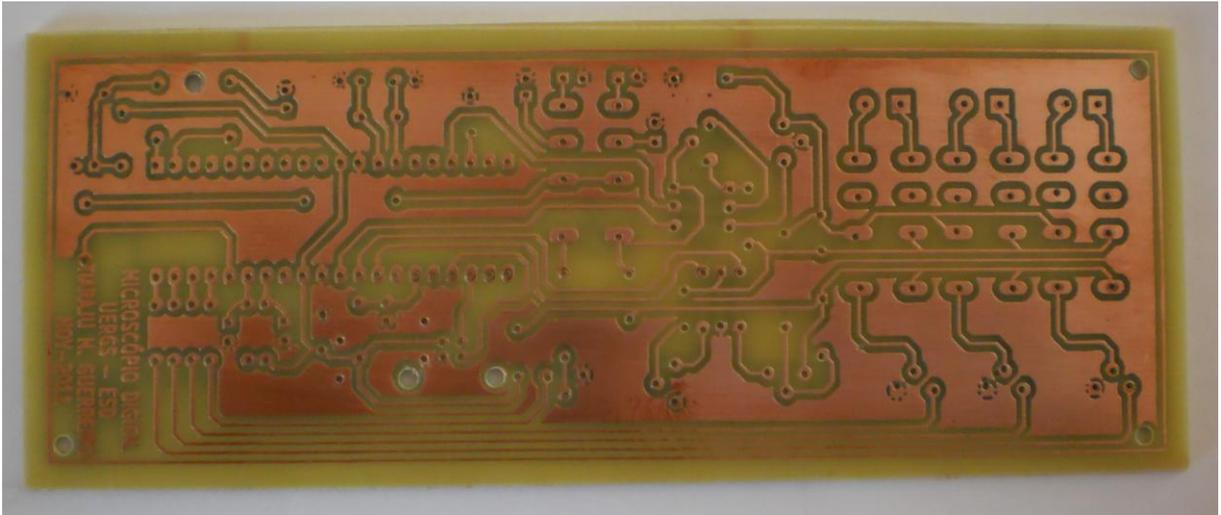


Figura 31 - PCB gerada (face de cobre)

Para melhor visualização e compreensão dos componentes da PCB gerada, também foi impresso o layout dos componentes na outra face da placa, conforme a figura 32 (neste caso não ocorre a corrosão). Após, os componentes foram soldados na PCB (figura 33).

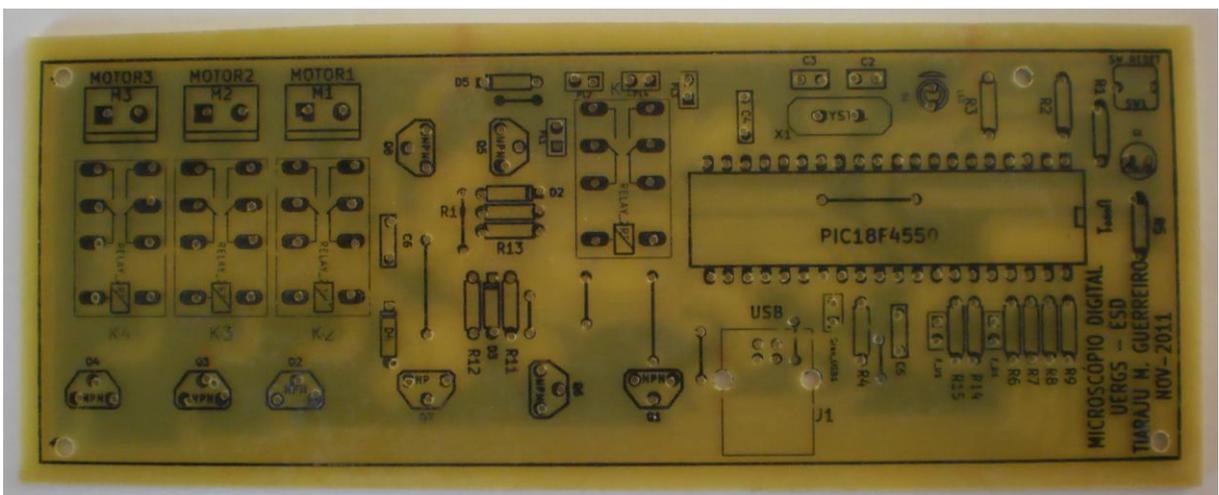


Figura 32 - PCB gerada (face superior)

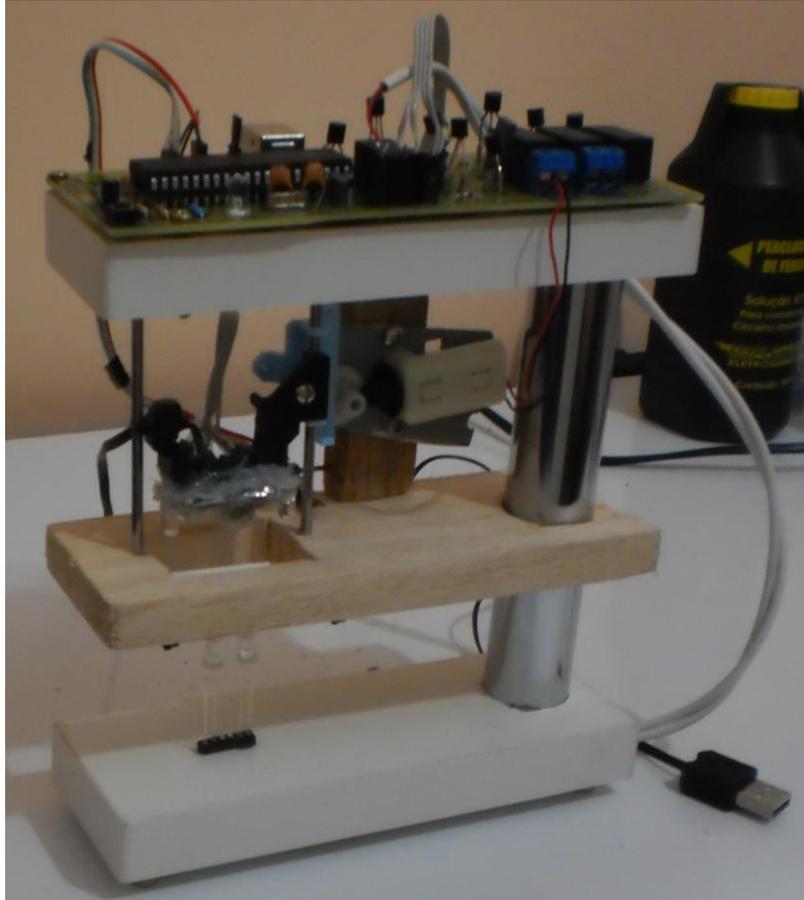


Figura 34 - Microscópio com os componentes eletrônicos

4.4. MÓDULO DE SOFTWARE

O módulo de software foi dividido em duas partes: software desktop, residente no PC, responsável por fornecer a interface gráfica com o usuário (GUI), e o software embarcado no microcontrolador, responsável pelo controle de foco e brilho.

A comunicação entre o PC e o microcontrolador é realizada através do barramento USB. Este barramento foi escolhido por ser atualmente padrão em comunicação entre o computador e periféricos. Contudo, o microcontrolador escolhido possui suporte ao protocolo USB, e este também foi um fator determinante.

4.4.1. Software Desktop

O diagrama da figura 36 ilustra os requisitos como casos de uso para o programa desktop. Neste diagrama é possível compreender as principais funcionalidades do software do ponto de vista de um usuário. Cada balão no diagrama representa uma funcionalidade fornecida.

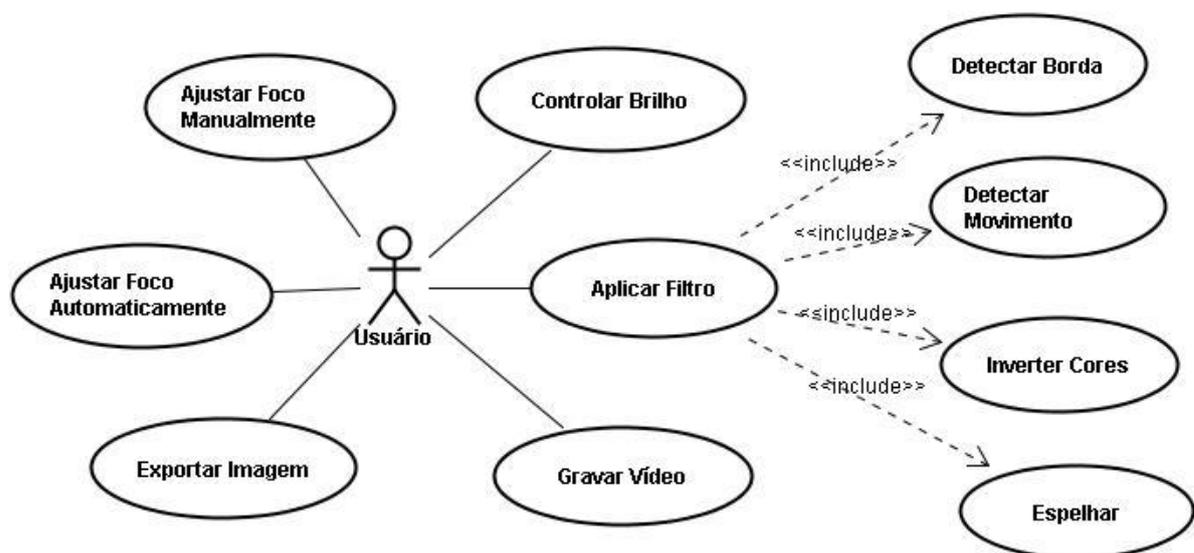


Figura 35- Diagrama de Casos de Uso do Software

Para o desenvolvimento do software Desktop foi escolhida a tecnologia Java. O programa é basicamente composto pela GUI, comunicação USB e processamento de imagens, e foi desenvolvido com o auxílio do IDE *NetBeans*. A GUI foi desenvolvida utilizando a API padrão do Java, através dos componentes gráficos do framework *Swing*. A comunicação USB no lado desktop foi abstraída com o uso de uma DLL escrita em linguagem C para uso no sistema operacional *Microsoft Windows XP*, e as funções definidas por esta DLL podem ser invocadas como métodos Java através de chamadas nativas JNI (Java Native Interface).

Para facilitar a comunicação USB, foi utilizada a classe HID, que é a mesma classe usada na comunicação do PC com periféricos como o mouse e teclado. Desta forma, foi reaproveitado o driver USB padrão do sistema operacional destinado a comunicação com esses periféricos.

O framework *Marvin* foi utilizado para abstrair os principais algoritmos de processamento de imagens utilizados neste projeto, na qual são implementados como plug-ins. No caso do microscópio óptico digital, são utilizados os plug-ins para detecção de borda, geração de histograma, detecção de movimento, inversão de cores e espelhamento. Esses algoritmos são vistos como uma “caixa-preta” para o programador. Conforme a figura 35, um arquivo de imagem como JPEG pode ser convertido para um objeto Java da classe *MarvinImage*. Este objeto pode ser processado por algum dos diversos plug-ins fornecidos pelo framework, retornando o objeto processado, que por sua vez pode ser reconvertido a um arquivo de imagem como JPEG.



Figura 36 - Abstração fornecida pelo Marvin Framework

Utilizando-se o plug-in que implementa a detecção de bordas e a análise de histogramas, desenvolveu-se o ajuste automático de foco, considerando que a melhor borda implica em uma imagem focalizada. Esse algoritmo faz com que o sistema de lentes do microscópio desloque-se passo a passo capturando cada imagem e analisando seu histograma, com o objetivo de contabilizar a quantidade de pixels escuros. A imagem com maior quantidade desses pixels corresponderá à melhor borda.

4.4.2. Software Embarcado no Microcontrolador

O software embarcado é gravado no microcontrolador PIC18F4550 e se encarrega de receber os comandos do software desktop através do barramento USB, interpretá-los e executá-los. A execução de um comando pelo microcontrolador implica em atuar sobre o motor CC ou sobre os LEDs, ajustando o foco e o brilho, respectivamente. Desta forma, todo processamento “pesado” fica a cargo do computador pessoal.

A linguagem C, utilizada para este propósito, junto das bibliotecas fornecidas (*Microchip Application Libraries*), abstraem a comunicação USB. O código-fonte foi desenvolvido com o auxílio do *MPLAB IDE* e compilado pelo *C18*. O arquivo de saída, de extensão *.hex*, foi gravado no microcontrolador e contém todo o fluxo de instruções que devem ser executadas.

Na figura 36 é representada a comunicação entre o software desktop (host) e o software embarcado no microcontrolador (dispositivo). Foram definidos diversos comandos que podem ser transmitidos entre o host e o dispositivo, sendo cada comando abstraído como um código hexadecimal. No protocolo USB, qualquer

requisição sempre começa pelo host. O código-fonte do projeto demonstra tais códigos nos arquivos *USBDefines.java* do software desktop e *HardwareProfile.c* do software embarcado.

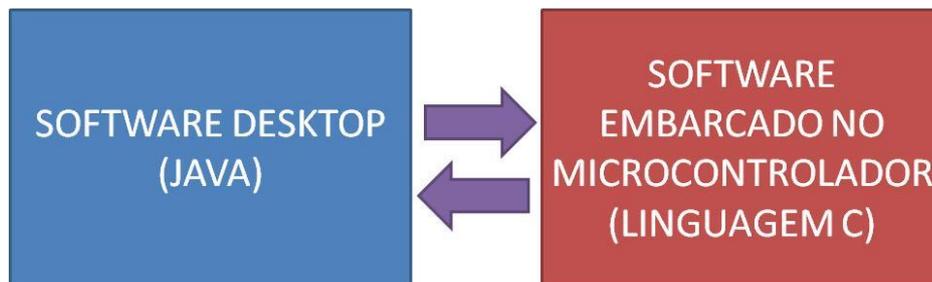


Figura 37 - Comunicação PC com Microcontrolador

O microcontrolador atuará sobre o motor CC e sobre os LEDs utilizando a técnica de PWM. Isso se faz necessário devido ao seguinte:

- O motor CC deve girar de forma a obter um deslocamento muito pequeno no sistema de lentes, possibilitando um ajuste fino de foco. Isto é conseguido através do controle do tempo e tensão entregues ao motor com a técnica de PWM.
- O brilho de um LED depende da tensão aplicada a ele, também controlada via PWM.

O hardware foi implementado observando-se que alguns pinos do PIC18F4550 podem fornecer o sinal PWM, e o software desenvolvido controla os valores desses pinos.

O período PWM responsável pelo controle do motor e brilho dos LEDs é previamente calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{Período_PWM} = [(PR2) + 1] \times 4 (\text{valor_pre_escaler_TMR2}) / F_{osc}$$

Onde:

Período_PWM: período de tempo do sinal PWM.

PR2: valor do registrador PR2 do PIC18F4550.

valor_pre_escaler_TMR2: valor pré-escaler do Timer 2 do PIC18F4550.

Fosc: Frequência do oscilador, neste projeto igual a 20MHz.

Tanto o sinal PWM fornecido ao motor quanto o fornecido aos LEDs possuem o mesmo período de tempo do sinal, igual a 640 μ s. Para isso, os valores abaixo foram configurados:

$$\text{Período_PWM} = [(199) + 1] \times 4 (16) / 20.000.000 = 640 \mu\text{s}$$

Com esse valor para o período PWM, o *duty cycle* pode variar de 0 até 800, onde 0 é menor pulso e 800 é o maior. Contudo, o sinal PWM do motor utiliza 4 pinos de saída, definidos pelo módulo PWM1 do PIC18F4550 e conectados a ponte H do circuito, enquanto o sinal dos LEDs utiliza apenas 1 pino de saída, definido pelo módulo PWM2 do microcontrolador.

O deslocamento do sistema de lentes fornecido pelo motor está diretamente associado ao sinal PWM, e a alimentação durante a subida do sistema deve ter valor diferente da alimentação durante a descida, em função da interferência gerada pela força gravitacional. Portanto, o sinal PWM usado para que o motor seja alimentado durante a subida do conjunto de lentes deve ser maior quando comparados com a descida.

5. RESULTADOS OBTIDOS

O microscópio e o software desenvolvidos foram testados através de um computador com processador *Intel Core I3*, com 2 GB de memória RAM, placa de vídeo integrada e sistema operacional *Microsoft Windows XP* de 32 bits. Para isso, conectou-se o cabo USB da webcam e o cabo USB da placa do microscópio ao PC, conforme a figura 37.

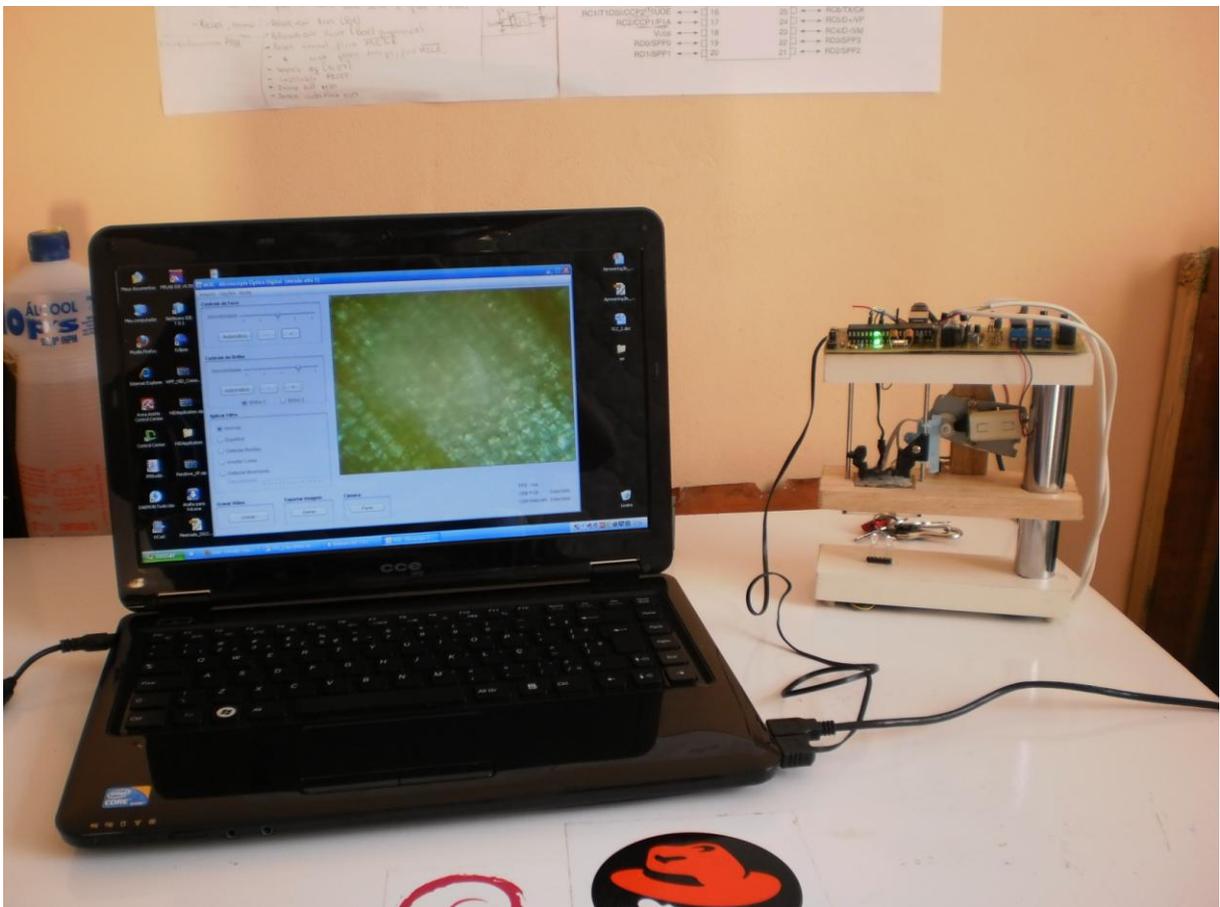


Figura 38 - Microscópio conectado a um computador

Células do tecido epitélio de uma cebola foram coradas com violeta genciana e utilizadas como amostra para as observações descritas aqui. Utilizando uma simples lâmina de barbear, o tecido epitélio da cebola foi removido de maneira mais plana possível. Contudo, outras observações foram realizadas utilizando insetos, tais

como formigas e mosquitos, porém, suas geometrias tridimensionais fazem com que sempre haja alguma parte da imagem fora de foco.

A figura 38 mostra a interface gráfica do sistema desenvolvido observando-se a amostra de cebola no foco e sob luz natural. Nota-se que pouco se distingue em nossa amostra devido à falta de brilho e contraste da imagem.

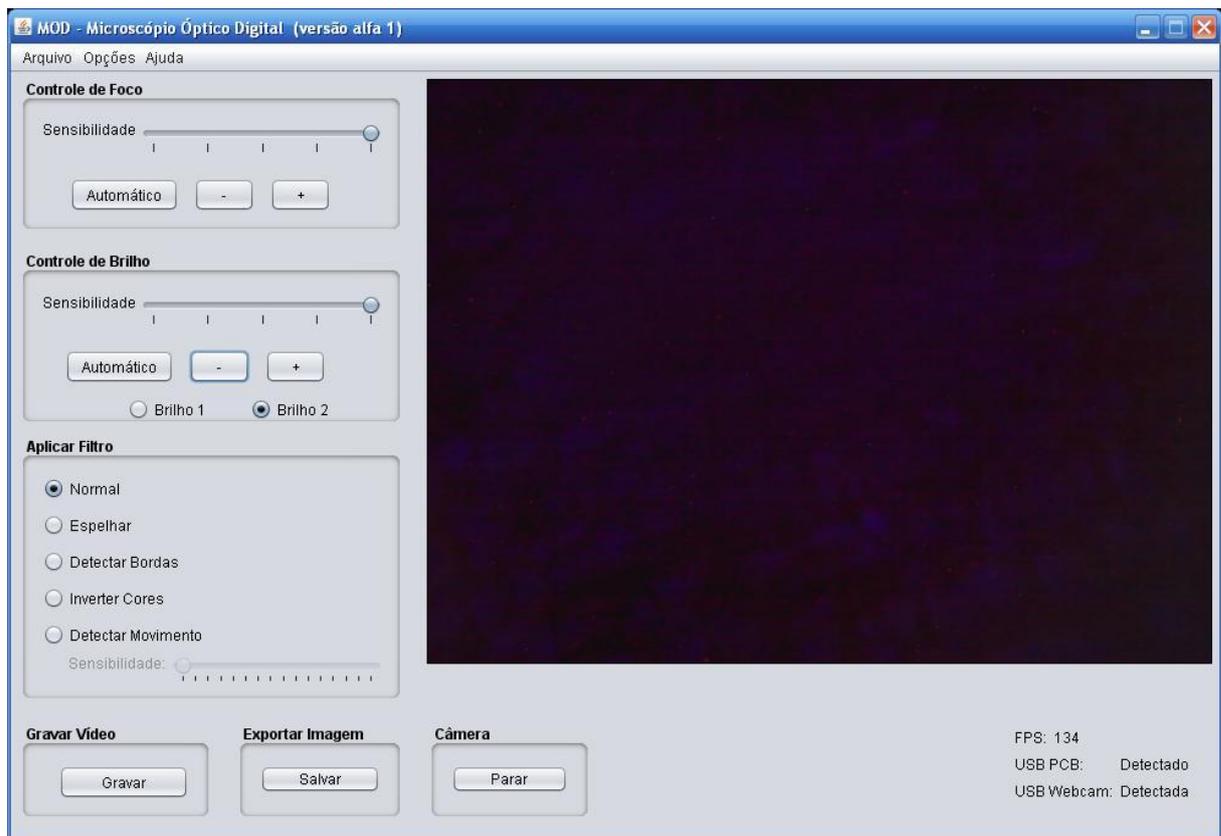


Figura 39 – Amostra de cebola sob luz natural

Entre as opções do software, podemos ajustar o foco de forma manual ou automática. Um ajuste pode ser feito para que haja pequenas ou grandes alterações no deslocamento do foco através do nível de sensibilidade. O motor CC atua conforme estas opções. O ajuste do brilho também se destaca, onde a intensidade de luz artificial pode ser controlada para cada par de LEDs distribuídos. A voltagem que controla esse brilho é fornecida via PWM e sua taxa de variação depende do

nível de sensibilidade configurado no software. A figura 39 mostra o mesmo espécime da figura 38 sob a luz artificial onde é possível notar uma melhora significativa no brilho e contraste da amostra.

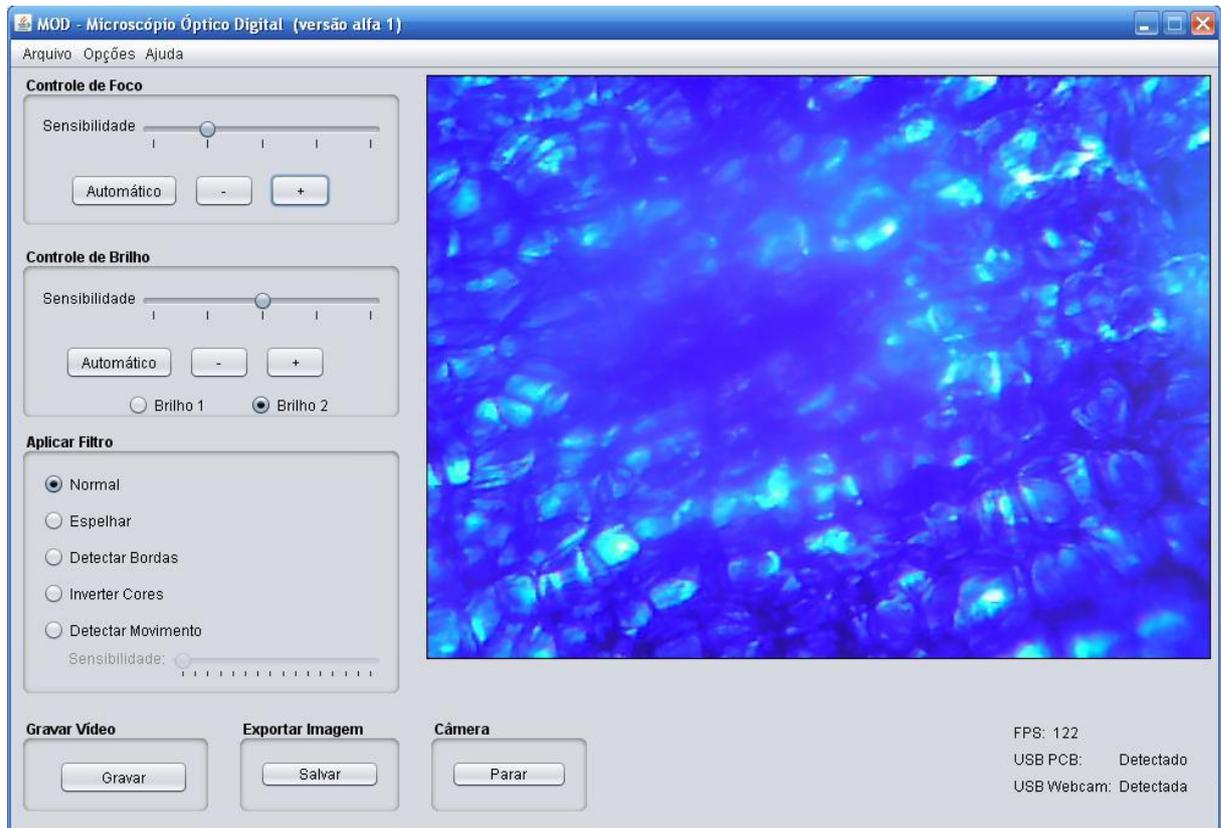


Figura 40 – Amostra de cebola sob luz artificial

Alguns filtros podem ser aplicados para analisar outras perspectivas da amostra. A imagem pode ser espelhada, ter suas bordas detectadas, cores invertidas e movimentos detectados, tudo isso frame a frame.

A imagem 40 mostra nosso espécime sob a perspectiva do filtro de borda e a figura 41 sob o filtro de cores invertidas, também chamado de negativo.

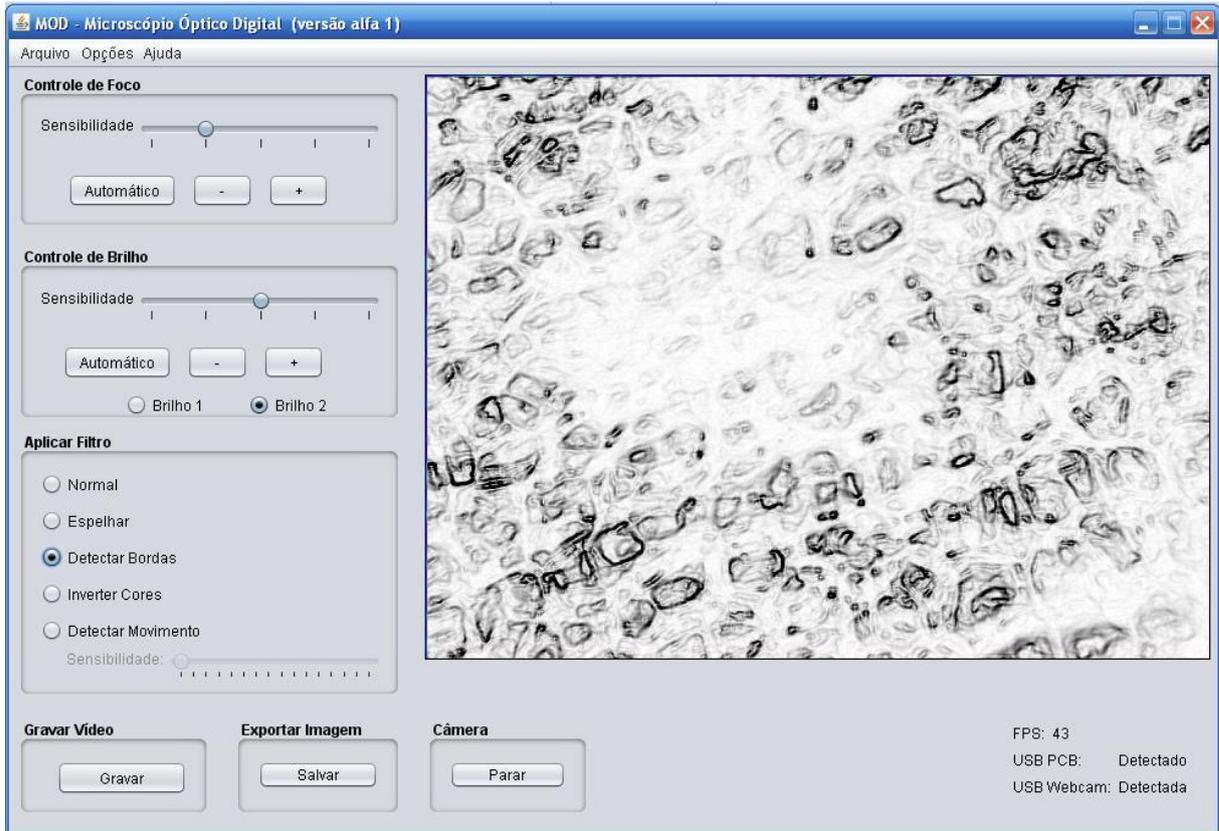


Figura 41 - Amostra de cebola através do filtro de borda

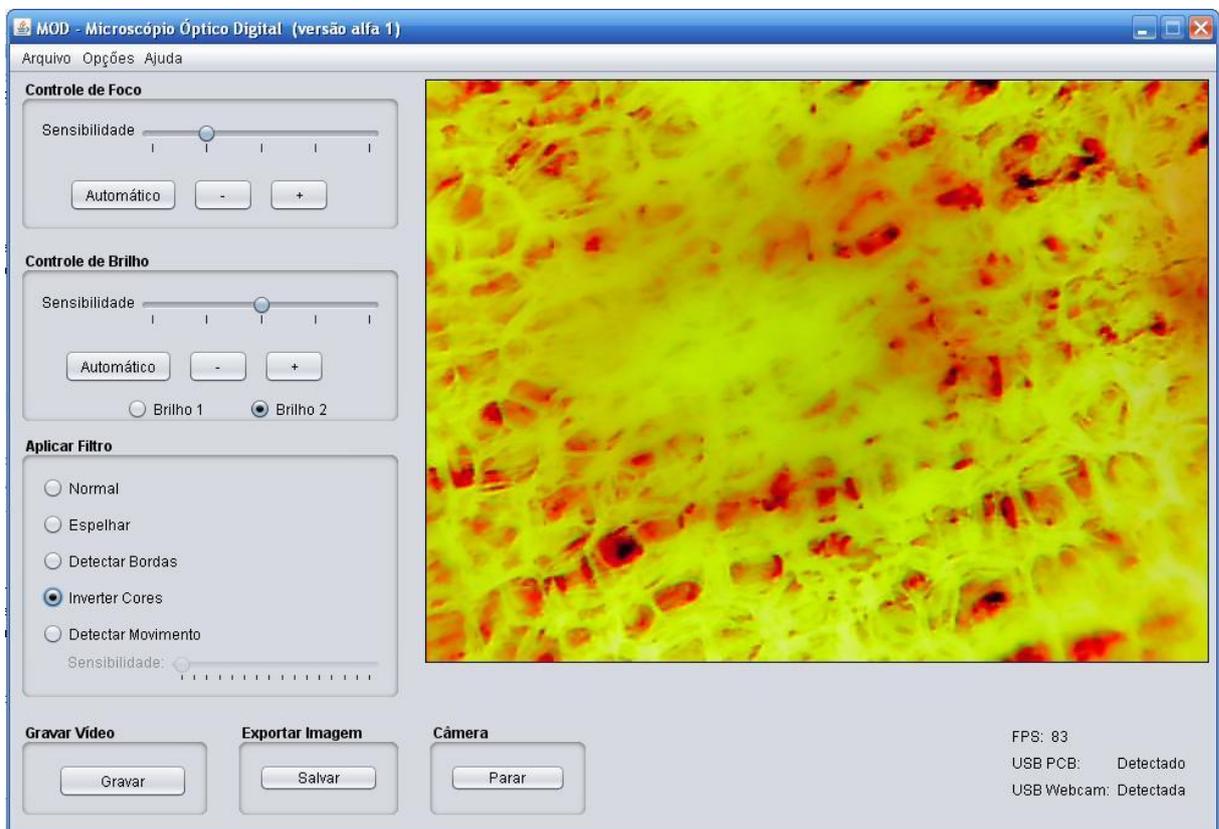


Figura 42 - Amostra de cebola através do filtro de inversão de cores

Há um filtro de detecção de movimento, ideal na observação de insetos ainda vivos. Áreas da imagem que possuem movimento são destacadas através de um retângulo vermelho. Um pequeno inseto, cuja cabeça é menor que um milímetro, foi usado como espécime ainda vivo, mostrado na figura 43.

Por vezes é interessante a análise de histogramas de determinada imagem para contabilizar a quantidade de pixels de acordo com suas cores. No menu “Opções” podemos gerar histogramas em escala RGB (vermelho, verde e azul) e escala de cinza. A figura 44 mostra dois histogramas, que foram gerados para o frame corrente.

Por fim, o software possibilita o arquivamento de uma observação, tanto no formato de vídeo (extensão *.avi*) quanto no formato de imagem (extensão *.jpg*).

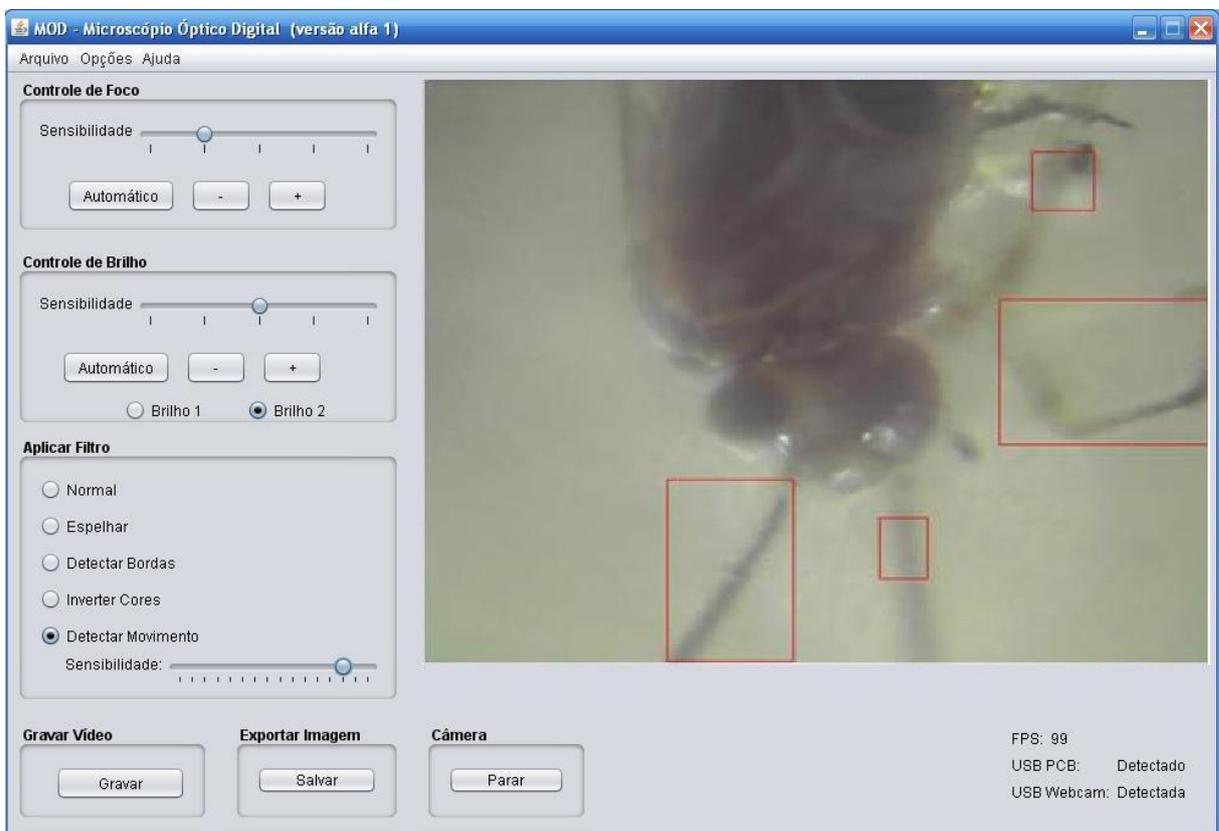


Figura 43 - Inseto através do filtro de detecção de movimentos.

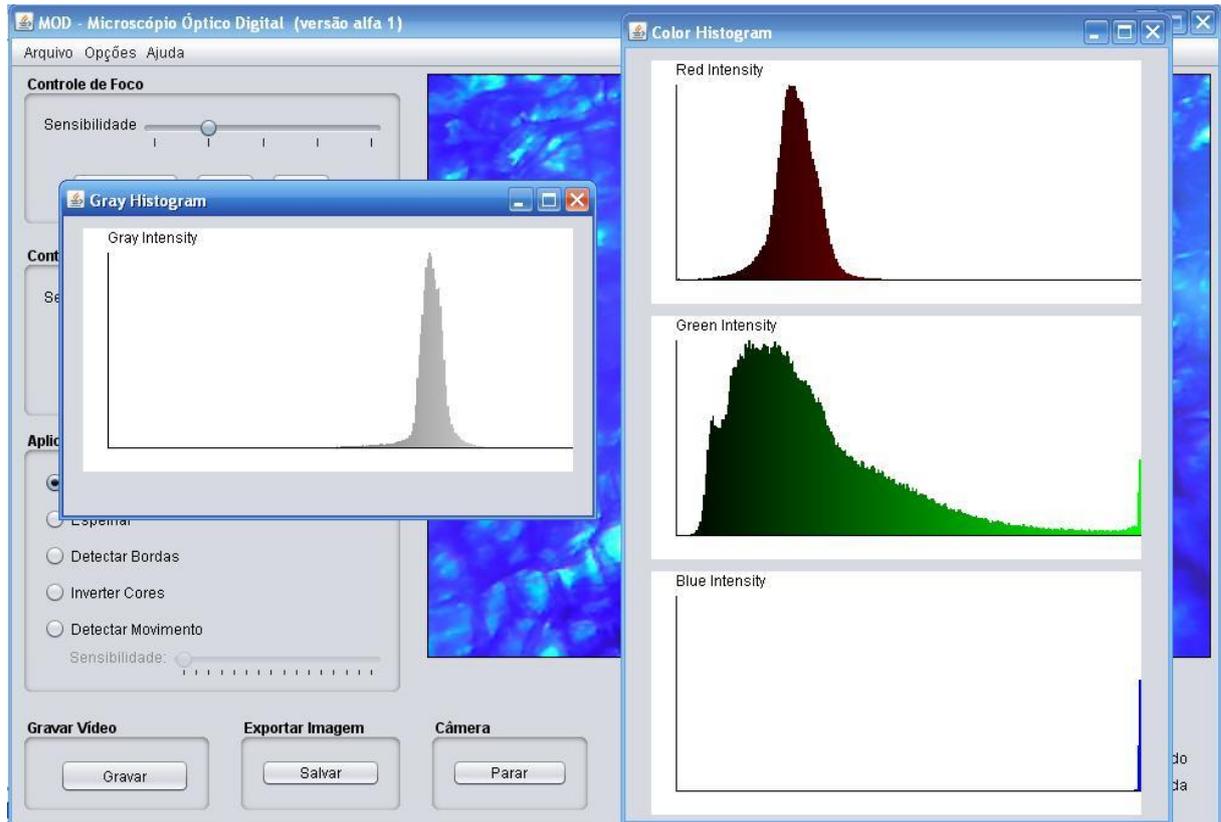


Figura 44 - Histogramas em escala de cinza e escala RGB.

6. IMPLEMENTAÇÕES FUTURAS

Novas funcionalidades ainda podem ser adicionadas ao microscópio óptico digital, principalmente sobre os módulos mecânicos e de software. Algumas delas são:

- *Foco tridimensional:* Para espécimes tridimensionais, como insetos, existem diversos níveis de foco dependendo da distância entre a lente e um ponto do espécime. Quando um ponto está em foco, outro ponto pode não estar. Para este caso, poderá ser desenvolvido um algoritmo que captura imagens em muitos níveis de foco e após monta uma única imagem totalmente focalizada através das imagens coletadas.
- *Varredura em três dimensões:* O hardware desenvolvido suporta o uso de outros dois motores CC, além do utilizado para regulagem de foco. Utilizando os mesmo recursos de leitores de CD, poderá ser criado um mecanismo que move a lâmina em duas dimensões. Isto abre caminho a uma série de algoritmos de varredura cuja saída é uma imagem panorâmica, além de reconhecimento de padrões.
- *Troca da lente objetiva:* A lente removida do leitor de CD pode ser trocada por outra de maior aumento. Lentes próprias para microscópio podem ser adaptadas a este modelo, fornecendo aumentos ainda maiores.
- *Troca da câmera:* A webcam utilizada possui resolução de 480K pixels, e poderá ser substituída por outra de maior resolução, aumentando a resolução da imagem fornecida.

7. CONCLUSÃO

O propósito deste trabalho foi o projeto e o desenvolvimento de um microscópio óptico digital. Esse objetivo foi alcançado através do reaproveitamento de componentes eletrônicos usuais, como o leitor de CD e webcam. Outros componentes usados são de baixo custo e podem ser adquiridos facilmente em lojas de componentes ou através da remoção de placas estragadas.

Outras pessoas poderão reproduzir esse modelo de microscópio com o mínimo de readaptação, de acordo com o material disponível. Será possível o uso desses modelos de microscópios por pesquisadores autônomos, escolas, entre outros. Outras readaptações poderão ser realizadas na mecânica apresentada.

O software desenvolvido se mostrou bastante prático, pois evita o controle manual que pode ser dispendioso. Além do mais, os filtros fornecidos podem ser de grande ajuda em observações de certas características. A possibilidade de exportar vídeo ou imagem permite que observações possam ser revistas. Outras funcionalidades poderão ser acrescentadas ao programa desenvolvido, tornando o sistema ainda mais robusto.

Conhecimentos de óptica, mecânica, eletrônica, controle, processamento de imagens, comunicação de dados e software foram aplicados durante a elaboração deste projeto, por essa razão, acredito que o desenvolvimento deste protótipo foi de grande valia, desafiando-me a por em prática a multidisciplinaridade adquirida no decorrer do curso de engenharia em sistemas digitais.

REFERÊNCIAS

- [1] AJUDA ALUNOS: MICROSCÓPIO E A CÉLULA, Disponível em <http://ajudaalunos.blogspot.com/2009/03/microscopio-e-celula.html> Acessado em Set de 2011.
- [2] BANDEIRA, Marcos Vinicius, Localização de Imagens ao Microscópio Utilizando Processamento Digital de Imagens. Disponível em <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7134/000539626.pdf?sequence=1> Acessado em Nov de 2011.
- [3] CARBONI, Giorgio. A One-Dollar Microscope. Disponível em: http://www.funsci.com/fun3_en/ucomp1/ucomp1.htm Acessado em: Set, Out, Nov e Set de 2011.
- [4] DEITEL, H.M.. Java: Como Programar. 6ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [5] ECLIPSE PROJECT. Disponível em <http://www.eclipse.org/> Acessado em Set de 2011.
- [6] H-BRIDGE MICROCHIP PIC MICROCONTROLLER PWM MOTOR CONTROLLER. Disponível em <http://www.ermicro.com/blog/?p=706> Acessado em Set, Out e Nov de 2011.
- [7] HOW STUFF WORKS, COMO FUNCIONAM OS MICROSCÓPIOS DE LUZ – Disponível em <http://ciencia.hsw.uol.com.br/microscopios-de-luz.htm> Acessado em Set de 2011.

[8] HOW STUFF WORKS , COMO FUNCIONAM OS GRAVADORES DE CDS –
Disponível em <http://informatica.hsw.uol.com.br/gravadores-de-cds1.htm> Acessado em Set de 2011.

[9] JUSB: JAVA USB. Disponível em <http://jusb.sourceforge.net/> Acessado em Out, Nov e Dez de 2011.

[10] KICAD. Disponível em <http://iut-tice.ujf-grenoble.fr/kicad/index.html> Acessado em Out de 2011.

[11] KICAD LIBRARIES. Disponível em <http://www.kicadlib.org/> Acessado em Nov e Dez de 2011.

[12] MARVIN: IMAGE PROCESSING FRAMEWORK. Disponível em <http://marvinproject.sourceforge.net/en/index.html> Acessado em Set, Out, Nov e Dez de 2011.

[13] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. PIC18F4550. Data Sheet. Rev. 2004
Disponível em <http://www.microchip.com> Acesso em: Out de 2011.

[14] MIYADAIRA, Alberto Noboru. Microcontroladores PIC18: Aprenda e programe em linguagem C. 1ª Ed. São Paulo: Érica, 2009.

[15] NAUTILUS: PROGRAMA ÓPTICA. Disponível em <http://nautilus.fis.uc.pt/mocho/local/local/software/fisica/optica/manual.html> Acessado em Set de 2011.

[16] NILSSON, James W., Susan A. Riedel. Circuitos Elétricos. 6ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

[17] OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno. 4ª Ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

[18] OGATA, Katsuhiko. Sistemas De Control en Tiempo Discreto. 2ª Ed. Mexico: Person Educación, 1996.

[19] ORACLE TECHNOLOGY NETWORK. Disponível em <http://www.oracle.com>
Acessado em Set, Out, Nov e Dez de 2011.

[20] PIC + USB + Bootloader = Fácil. Disponível em
<http://www.jonis.com.br/index.php/81-eletronica/77-pic-usb-bootloader-facil> Acessado
em Set, Out e Nov de 2011.

[21] PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS. Disponível em
<http://www6.ufrgs.br/engcart/PDASR/pdi.html> Acessado em Nov de 2011.

[22] SEDRA, Adel S., Kenneth Smith. Microeletrônica. 4ª Ed. São Paulo: Person Makron Books, 2000.

[23] TIPLER, Paul Allan. Física para cientistas e engenheiros, v.2: eletricidade e magnetismo; ótica. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

(NO CD) SOFTWARES UTILIZADOS E ARQUIVOS DESENVOLVIDOS