

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**USO DE UMA PLACA DE SOM PARA O PROJETO
DE UM SENSOR DE LUMINOSIDADE E PRESENÇA**

**DANIEL ALVES FERNANDES
RAFAEL LUSTOSA ÁVILA**

ORIENTADOR: ALEXANDRE RICARDO SOARES ROMARIZ

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

PUBLICAÇÃO: ENE-2/2006

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO / 2006

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**USO DE UMA PLACA DE SOM PARA O PROJETO
DE UM SENSOR DE LUMINOSIDADE E PRESENÇA**

**DANIEL ALVES FERNANDES
RAFAEL LUSTOSA ÁVILA**

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

APROVADA POR:

**ALEXANDRE RICARDO SOARES ROMARIZ, PhD, UNB
(ORIENTADOR)**

**ADSON FERREIRA DA ROCHA, PhD, UNB
(EXAMINADOR INTERNO)**

**RICARDO ZELENOVSKY, Doutor, UNB
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 18 DE DEZEMBRO DE 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

FERNANDES, DANIEL ALVES &
ÁVILA, RAFAEL LUSTOSA

Uso de uma placa de som para o projeto de um sensor de luminosidade e presença

[Distrito Federal] 2006.

xiv, 82, 297 mm (ENE/FT/UnB, Engenharia Elétrica, 2006). Monografia de Graduação –
Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. economia de energia

2. placa de som

I. ENE/FT/UnB.

II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FERNANDES, DANIEL ALVES e ÁVILA, RAFAEL LUSTOSA (2006). Uso de uma placa de som para o projeto de um sensor de luminosidade e presença. (Projeto Final de Graduação), Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF,

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daniel Alves Fernandes & Rafael Lustosa Ávila

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Uso de uma placa de som para o projeto de um sensor de luminosidade e presença.

GRAU: Engenheiro Eletricista

ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Daniel Alves Fernandes
SHIN Qi 01, conjunto 03, casa 05
CEP 71505-030 – Brasília – DF – Brasil

Rafael Lustosa Ávila
SQSW 305, bloco I, apartamento 402
CEP 70673-429 – Brasília – DF – Brasil

RESUMO

O presente trabalho mostra o desenvolvimento de um sensor de iluminação e presença com potencial para a economia de energia pela dimmerização de luz conforme o nível natural de iluminação num ambiente. O sensor faz uso de uma placa de som para aquisição de dados e prova que esta abordagem pode ser usada com grande eficiência para a captação de sinais DC usando um VCO para modular os dados em frequência.

ABSTRACT

The present work shows the development of a light intensity and presence sensor with the potential to save energy by dimming light according to natural ambient light levels. This sensor makes use of a sound card to acquire data and proves that this approach can be used with high performance to capture DC signals by using a VCO to frequency modulate the data.

SUMÁRIO

Capítulo	Página
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DE FREQUÊNCIAS	6
2.1.1 – Análise de Fourier	7
2.2 – CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS	8
2.2.1 – Luz	8
2.2.2 – Fotometria	9
2.2.3 – Fluxo Luminoso (ϕ)	9
2.2.4 – Intensidade luminosa	10
2.2.5 – Iluminância	11
2.2.6 – Luminância	12
2.2.7 – Eficiência luminosa	12
2.3 – LUXÍMETRO	13
2.5 – DIMMER	14
2.6 – FOTODETECTORES	16
2.6.1 – Detectores térmicos	16
2.6.2 – Detectores fotoelétricos	16
2.6.2.1 – Efeito externo	16
2.6.2.2 – Efeito interno	17
2.6.3 – L.D.R.	17
2.6.4 – Fotodiodo PIN	17
2.7 – MODULAÇÃO	18
2.7.1 – Modulação AM	19
2.7.2 – Modulação FM	19
2.8 – MULTIPLEXAÇÃO DE SINAIS	20
2.9 – PLACA DE SOM	21
2.9.1 – Conversor A/D	21
2.9.2 – Taxa de amostragem	22
2.9.3 – Entradas de uma placa de som	23

2.10 – MATLAB	24
2.10.1 – Visão geral	24
2.10.2 – Ferramenta de aquisição de dados	25
2.10.2.1 – Processo de aquisição	25
2.10.2.2 – Fluxo de aquisição de dados	26
2.10.3 – Sessão de aquisição de dados	27
2.11 – OSCILADOR CONTROLADO POR TENSÃO	29
2.11.1 – O circuito básico	29
2.11.1.1 – Funcionamento do VCO	30
2.12 – FILTRO PASSA-BAIXAS	33
CAPÍTULO 3 – ECONOMIA DE ENERGIA	35
3.1 – ESTUDOS DE ECONOMIA	35
3.2 – PROCEL	38
CAPÍTULO 4 – SENSORES	40
4.1 – COMPONENTES DOS SENSORES	40
4.1.1 – Detectores	42
4.1.2 – VCOs	44
4.1.2.1 – VCO 1	45
4.1.2.2 – VCO 2	46
4.1.2.3 – VCO 3	46
4.1.2.4 – VCO 4	47
4.1.3 – Filtros	47
4.2 – CAPTAÇÃO DE SINAIS	50
4.2.1 – Captação via entrada de microfone	50
4.2.1.1 – Realização da sessão de aquisição	51
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS	56
5.1 – SENSORES	56
5.1.1 – Funcionamento dos VCOs	56
5.1.1.1 – VCO 1	56
5.1.1.2 – VCO 2	58
5.1.1.3 – VCO 3	61
5.1.1.4 – VCO 4	63
5.1.2 – Funcionamento dos filtros	65
5.4 – SINAIS DIGITALIZADOS	66

5.5 – FUNCIONAMENTO DO SENSOR	71
5.5.1 – Sensor 1	74
5.5.2 – Sensor 2	74
5.5.3 – Sensor 3	75
5.5.4 – Sensor 4	76
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
APÊNDICE A	81

SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 2.1 – Correspondência entre tempo e frequência (fonte – Apostila do professor Lúcio Martins da Silva, UnB, 2005)	7
Figura 2.2 – Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas (fonte – Manual luminotécnico prático Osram)	9
Figura 2.3 – Espectro eletromagnético (fonte – Manual luminotécnico prático Osram)	9
Figura 2.4 – Fluxo luminoso (fonte – Guia de iluminação Philips)	9
Figura 2.5 – Intensidade luminosa (fonte – Guia de iluminação Philips)	10
Figura 2.6 - Ângulo sólido (fonte – wikipedia, http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%82ngulo_s%C3%B3lido , acessado em 12/12/2006)	11
Figura 2.7 – Iluminância (fonte – Guia de iluminação Philips)	12
Figura 2.8 – Luminância (fonte – Manual luminotécnico prático Osram)	12
Figura 2.9 – Ciclo completo da corrente alternada	15
Figura 2.10 – Ciclo da corrente interrompido e religado após 2 ms.	15
Figura 2.11 – Ciclo da corrente interrompido e religado após ~ 4,17 ms.	15
Figura 2.12 – Ciclo da corrente interrompido e religado após 6,33 ms.	15
Figura 2.13 – Corrente reversa vs. Iluminância do fotodiodo PIN BPW34 (fonte – <i>data sheet</i> do BPW34 da Vishay)	18
Figura 2.14 – Modulação AM (modificado – Apostila do professor Lúcio Martins da Silva, UnB, 2005)	19
Figura 2.15 – Sinal a ser modulado em frequência (fonte - Apostila do professor Lúcio Martins da Silva, UnB, 2005)	20
Figura 2.16 – Sinal modulado em frequência (fonte - Apostila do professor Lúcio Martins da Silva, UnB, 2005)	20
Figura 2.17 – Amostragem de uma onda senoidal (fonte – <i>internet</i>)	22
Figura 2.18 – Configuração do pino de entrada de microfone da placa de som.	23
Figura 2.19 – Configuração do pino de entrada <i>line in</i> da placa de som.	23

Figura 2.20 – Diagrama dos componentes da <i>toolbox</i> (fonte – <i>Data acquisition Toolbox User's Guide</i> em http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/daq/daq.html)	26
Figura 2.21 – Esquemático do fluxo dos dados coletados (fonte – <i>Data acquisition Toolbox User's Guide</i> em http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/daq/daq.html)	27
Figura 2.22 – Circuito integrado do PLL CD 4046 (fonte – <i>Data sheet</i> do PLL 4046B da Philips)	30
Figura 2.23 – Típicas frequências de <i>offset</i> em função do capacitor C1 (fonte – <i>Data sheet</i> do PLL 4046B da Philips)	32
Figura 2.24 – Típica relação de R2/R1 em função da relação fmax/fmin (fonte – <i>Data sheet</i> do PLL 4046B da Philips)	33
Figura 2.25 – Resposta em amplitude do filtro passa-baixas	33
Figura 3.1 – Nível de luz natural pela proximidade a uma janela (fonte – Manual Osram de sistemas eletrônicos)	36
Figura 3.2 – Economia de energia elétrica com controle manual de dimmerização (fonte – The Construction Specifier, Agosto 2005)	37
Figura 3.4 – Economia de energia elétrica com controle automático de dimmerização (fonte – The Construction Specifier, Agosto 2005)	38
Figura 4.1 – Componentes do sensor	41
Figura 4.2 – Gráfico de tensão vs. Iluminância do LDR	42
Figura 4.3 – Gráfico de tensão vs. Iluminância do BPW34	43
Figura 4.4 – Esquema de montagem de um OPB740 (fonte – <i>Data sheet</i> do OPB740 da Optek)	44
Figura 4.5 – Circuito integrado do PLL CD 4046	45
Figura 4.6 – Circuito do filtro passa-baixas de segunda ordem de Chebychev	48
Figura 4.7 – Método de conexão dos sensores à entrada de microfone	50
Figura 4.8 – Captação de sinais no Matlab	53
Figura 4.9 – Sensores e luxímetro	54
Figura 4.10 – montagem dos quatro sensores	55

Figura 5.1 – Curva de funcionamento do VCO 1 Freqüência versus Tensão	57
Figura 5.2 – Curva de funcionamento ótima do VCO 1 Freqüência versus Tensão	58
Figura 5.3 – Curva de funcionamento do VCO 2 Freqüência versus Tensão	59
Figura 5.4 – Curva de funcionamento ótima do VCO 2 Freqüência versus Tensão	60
Figura 5.5 – Curva de funcionamento do VCO 3 Freqüência versus Tensão	61
Figura 5.6 – Curva de funcionamento ótima do VCO 3 Freqüência versus Tensão	62
Figura 5.7 – Curva de funcionamento do VCO 4 Freqüência versus Tensão	63
Figura 5.8 – Curva de funcionamento ótima do VCO 4 Freqüência versus Tensão	64
Figura 5.9 – Curva de funcionamento do filtro com freqüência de corte em 5 kHz	65
Figura 5.10 – Curva de funcionamento do filtro com freqüência de corte em 10 kHz	66
Figura 5.11 – Gráfico da aquisição com as freqüências máximas das faixas dos sensores	67
Figura 5.12 – Verificação das bandas de guarda	68
Figura 5.13 – Verificação das bandas de guarda	68
Figura 5.14 – Varredura do espectro de freqüência da faixa de 6 kHz a 10 kHz	69
Figura 5.15 – Gráfico da aquisição de dados com as freqüências máximas das faixas dos sensores, (a)sem a presença dos atenuadores de amplitude, e (b)com a presença dos mesmos	71
Figura 5.16 – Gráfico de Iluminância vs. Freqüência para o sensor 1.	74
Figura 5.17 – Gráfico de Iluminância vs. Freqüência para o sensor 2.	75
Figura 5.18 – Gráfico de Iluminância vs. Freqüência para o sensor 3.	76

SUMÁRIO DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 2.1 – Exemplos de fluxo luminoso	10
Tabela 2.2 – Exemplos de eficiência luminosa	13
Tabela 2.3 – Níveis de iluminância	14
Tabela 3.1 – Consumo de energia por tipo de reator para lâmpadas fluorescente (fonte – Manual Osram de sistemas eletrônicos)	35
Tabela 3.2 – Economia energética e aumento da vida útil de lâmpadas incandescentes pela dimmerização (fonte – Lutron Electronics)	36
Tabela 4.1 – Valores dos elementos do circuito do filtro de segunda ordem de Chebychev (fonte – Rapid Practical Designs of Active Filters, David E. Johnson)	48
Tabela 5.1 – Medidas num luxímetro vs. Medidas no <i>Matlab</i>	72

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A consciência para o eficiente, para o politicamente correto, para o ecológico e para o corte de gastos se volta cada vez mais para a economia energética. Desde o início da sociedade industrial as grandes corporações aprenderam que a redução nos desperdícios aumenta o lucro. Cada centavo não gasto pode aumentar a receita do bolo, deixando cada um com uma fatia maior.

Diante de um discurso como este, podemos simplesmente ignorar sua superficialidade e achar que esta fantasia vai de encontro com a sociedade capitalista moderna. O desperdício é visto em cada esquina. O consumismo desvairado não tem correntes para segurá-lo. A cada dia o novo se torna velho e é descartado; é a cultura do obsoletismo em prática. O homem não se habituou a entender que uma lâmpada acesa sem motivo tem eficiência zero – qual a necessidade de se iluminar um quarto vazio?

Não aproveitar o que a natureza nos dá de graça é estupidez. E a maior fonte de energia que temos é o Sol. Mesmo que a maior parte dessa energia não possa ser aproveitada para a geração elétrica, pois as perdas são enormes, ainda assim o Sol é uma excelente fonte gratuita de calor e luz. O grande contraste é que num país em que suas maiores proporções se encontram nos trópicos, o homem venha se escondendo em blocos de concreto que impedem a passagem de luz natural. A arquitetura moderna ainda está evoluindo seus conceitos nessa área. (Devemos lembrar que a arquitetura brasileira tem uma grande influência européia, onde a intensidade de luz é menor que no Brasil)

É obvio que durante a noite não podemos nos voltar para a idade média e simplesmente viver na penumbra das velas. A tecnologia veio para ajudar. Mas durante o dia, mesmo com a enorme quantidade de luz que dispomos, o homem ainda acende bilhões de lâmpadas em todo o mundo. Milhões de Gigawatts de energia elétrica são simplesmente jogados fora todos os anos. A entropia ganha mais alguns passos na direção do caos.

A engenharia hoje está mais preocupada com o tema do desperdício. A automatização dos chamados prédios inteligentes cresce a passos largos. E como sua matéria prima, a

tecnologia, fica mais barata a cada dia; mesmo consumidores pequenos já podem entrar para a fila do futuro consciente.

Nossa proposta não é de forma alguma inovadora e muitos menos tem a pretensão de ser grandiosa ou tecnologicamente de ponta. Nossa proposta tem apenas o objetivo de ser simples, prática e sobretudo barata. Nossa proposta é um sensor de iluminação e presença interfaceado com um computador através de uma placa de som.

Todo o estudo do projeto começou com a idéia de se adquirir dados de baixa frequência por uma placa de som. Um artigo da universidade das Filipinas [7], dos professores Armando Sibal e Luis Sison, mostrava que a aquisição de sinais de baixa frequência pelo uso de uma placa de som era possível de ser realizado com uma confiabilidade bem alta. No artigo, os projetistas escolhem modular em amplitude uma onda triangular de 100 Hz com uma portadora senoidal de 4 kHz. O resultado da demodulação se mostrou muito satisfatório e os autores concluíram que a placa de som, com os devidos cuidados, poderia ser usada para a captação de sinais médicos e para o controle de servomecanismos.

A placa de som hoje é um dispositivo encontrado na quase totalidade dos computadores, muitos dos quais possuem um módulo integrado na própria placa mãe, os chamados *on-board*. Supondo que todo computador tenha sua placa de som, o custo para se preparar o sensor fica reduzido apenas ao dispositivo de captação do sinal (que será ligado à placa de som) e ao software que fará a análise dos dados.

Por este trabalho ser voltado principalmente para a área acadêmica, não houve a preocupação em escrever um software de análise. Em vez disso foi utilizado o *Data Acquisition Toolbox* do Matlab para capturar e analisar o sinal da placa de som. Note que o uso de um software dedicado seria muito mais conveniente se o projeto tivesse fins comerciais, pois este seria mais eficiente e muito mais barato que instalar o Matlab num computador. Porém, como foi dito antes, isto não está no escopo do trabalho.

A idéia do uso da placa de som se mostrou mais realista a partir da análise de um outro artigo, da edição *online* da revista *Electronic Design*[8]. Nele, os autores David Prutchi e Michael Norris atizam a curiosidade de projetistas lançando a idéia de transformar uma

placa de som em um conversor analógico digital de precisão para captação de sinais DC através de um VCO (oscilador controlado por tensão).

A placa de som comum é um dispositivo que normalmente não serve para a função de captação de sinais de baixa frequência ou DC, pois esta possui um filtro que corta todo sinal abaixo de 20 Hz na entrada. O uso de um VCO seria simplesmente para modular este sinal para uma faixa de frequência de trabalho da placa, que é de 20 Hz a 20 kHz.

Se pensarmos em termo de sinais de baixíssima frequência, como 20 Hz, não só poderíamos modulá-lo para uma frequência mais alta dentro dos 20 kHz, como poderíamos enviar múltiplos sinais. Para cada sinal modulado, se extrapolarmos a banda necessária em 5 vezes (i.e 100 Hz), seria possível colocar até 200 sinais ao mesmo tempo. Com a placa de som, na prática, temos uma banda de frequências para dividir entre vários sinais. Assim como é feito com as estações de rádio ou operadoras de celular.

Tendo estabelecido o rumo do projeto, foi necessário escolher um sinal ou conjunto de sinais para modular.

A primeira idéia foi a de usar sinais de instrumentação médica, uma vez que a vida humana é governada por sinais de baixa frequência, como ondas cerebrais, batimentos cardíacos e estímulos sensoriais (como espasmos musculares). Todos são sinais que estão abaixo da faixa dos 300 Hz [4], a maioria está abaixo de 20 Hz. Entretanto, estes logo foram descartados pelo conservadorismo ético dos projetistas, pois o uso de sinais de instrumentação médica tem que ser feito com muita cautela, e os resultados devem apresentar um nível de confiabilidade altíssimo. Como a intenção era usar componentes baratos para reduzir o custo do sensor e torná-lo economicamente viável, esta era uma escolha impossível.

Além de sinais vitais, existem ainda os vários sinais de frequência tão baixas que muitas vezes são considerados sinais DC. A temperatura num deserto, o ciclo lunar e até mesmo as chuvas no período de um ano são alguns exemplos.

A radiação solar visível, a luz, é um fenômeno natural que também têm um período cíclico bem determinado, ou seja, é um sinal de baixa frequência. Na latitude que vivemos o dia se

divide em 12 horas com luz e 12 horas sem luz. Nessas 12h de luz o nível de radiação solar tem sua amplitude variada de zero, no primeiro instante da primeira hora, até um máximo que acontece no último instante da sexta hora. Se cada ciclo desse se repete a cada 24h, temos uma frequência de aproximadamente 0,01 milihertz. Vemos então que o estudo da iluminação se encaixa na proposta da aquisição de baixas frequências do sensor.

Além disso, o controle de iluminação nos projetos arquitetônicos atuais está sendo considerado um grande racionador de energia elétrica. O aproveitamento de luz natural é uma boa maneira de economizar os gastos das empresas.

A automação de edifícios é um artifício que deve ser considerado em qualquer obra. Mesmo que o preço inicial de um projeto de automação seja ainda muito caro, a longo prazo este investimento se mostra bastante satisfatório por agilizar o fluxo de pessoas, diminuir o desgaste de equipamentos e reduzir o consumo de energia elétrica.

A forma de automação em iluminação mais prática que encontramos hoje é o uso de sensores de presença em corredores e garagens. Lugares em que a permanência de um indivíduo seja curta são ideais para se instalar tais aparelhos. Principalmente porque eles evitam que lâmpadas sejam esquecidas acesas.

Existem também os sensores de iluminação instalados nos tetos, em conjunto com lâmpadas e *dimmers*, mas que têm a desvantagem de serem muito caros e controlarem o nível de iluminação conforme a luminância do recinto, ou seja, a reflexão da luz nos objetos. Devido a sua localização no teto, estes sensores se mostram menos eficientes uma vez que a luz solar entra num recinto na direção do chão através de uma janela. Um sensor instalado num computador tem a vantagem de estar muito próximo da área de trabalho de uma pessoa. Outra vantagem é a maior quantidade de sensores espalhados num recinto – um por computador; enquanto que os sensores convencionais são geralmente instalados em pequenas quantidades.

O uso da placa de som também se torna uma vantagem quando comparado com a maioria dos periféricos de um computador. Na maioria das empresas, a placa de som tem sua entrada do microfone ou do *line in* inutilizadas; enquanto que entradas USB, paralela e serial são requisitadas por impressoras, *scanners*, *mouse*, *pendrivers* e *webcams*. Usando a

placa de som, o sensor deixa livre as outras portas para equipamentos mais importantes. Portanto, o primeiro objetivo traçado é o desenvolvimento de um sensor que module o nível de iluminação e presença usando a placa de som como interface para controlar a iluminância de interiores. Também será demonstrado que vários sinais DC podem ser modulados da faixa de áudio da placa de som ao mesmo tempo.

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo tem como objetivo esclarecer e relembrar conceitos que serão usados no projeto e análise dos dados do sensor.

2.1 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO DE FREQUÊNCIAS

Frequência é a medida de quantas vezes um evento se repete num determinado intervalo de tempo, ou quantas vezes esse evento se repete por segundo. Se pensarmos numa corda de violão afinada em Lá fundamental, esta corda, quando tocada, oscila para cima e para baixo 440 vezes por segundo; daí sua frequência é de 440 Hz.

Todas as frequências associadas a um fenômeno real somente assumem valores que se encontra no eixo real e positivo. Este eixo inicia com sinais DC (ou seja, que têm frequência zero por não variarem no tempo) e se estende até o infinito, passando pelas frequências de rádio, microondas, luz visível, raios X, gama, cósmicos e indo até o desconhecido.

Na prática, o que se adota como sendo o espectro eletromagnético de frequências é uma faixa de valores que se iniciam no maior período possível teórico (que seria o tamanho do próprio universo) até as ondas com o menor período teórico adotado como sendo o comprimento de Planck ($1,6 \times 10^{-35}$ metros).

O período e a frequência de uma onda são inversamente proporcionais; ou seja, quanto menor o período, maior será a frequência.

Quando se ouve falar de uma banda ou faixa de frequências de uma operadora de celular, o que se entende é que esta operadora paga os direitos de usar estas frequências para transmitir seus dados por suas antenas. Isto porque, se não houvesse este tipo de controle, as interferências tornariam impossível a transmissão de informação. O mesmo acontece para qualquer conjunto de frequências – estas podem ser divididas para que não haja interferência entre sinais.

2.1.1 – Análise de Fourier

Uma ferramenta matemática muito usada pela engenharia é a análise de Fourier para sinais periódicos não-senoidais e sinais aperiódicos. Esta análise consiste em duas técnicas que foram exploradas e baseadas nos trabalhos de Jean Baptiste Joseph Fourier e que podem ser aplicadas para o estudo destes sinais no domínio da frequência: a série de Fourier e a transformada de Fourier.

A série de Fourier é uma técnica que permite mostrar que um sinal periódico não-senoidal é na verdade um conjunto de ondas senoidais dispostas em várias frequências e com amplitudes diferentes, que quando somadas formam a onda resultante analisada.

A transformada de Fourier, de forma semelhante à série de Fourier, permite analisar sinais aperiódicos de forma algébrica no domínio da frequência.

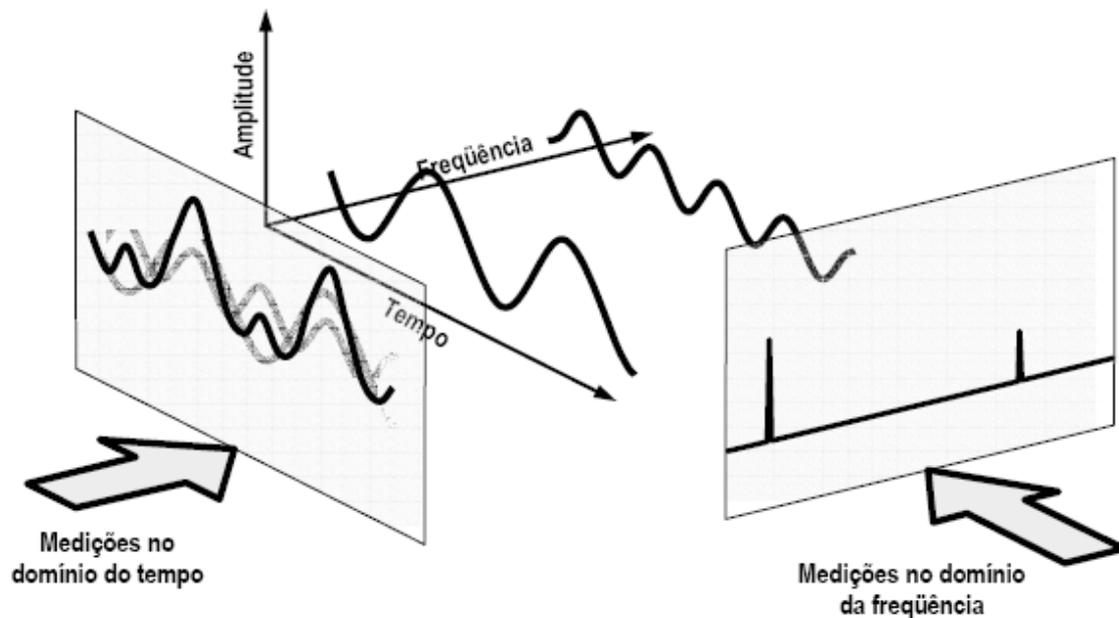


Figura 2.1 – Correspondência entre tempo e frequência (fonte – Apostila do professor Lúcio Martins da Silva, UnB, 2005)

2.2 – CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS

2.2.1 – Luz

No campo da física, a luz é uma onda eletromagnética transversal caracterizada por um campo elétrico e outro magnético, ambos variantes no tempo e perpendiculares entre si.

O ser humano reconhece a luz como uma forma de energia radiante que causa sensação visual de claridade. Porém, a sensação visual da luz varia conforme o período do dia.

A luz visível está definida num espectro de radiação eletromagnética que compreende a faixa entre 380 (violeta) a 780 (vermelho) nanômetros, sendo que o amarelo-esverdeado é a cor de maior sensibilidade para o olho humano, com comprimento de onda de 555 nm. Abaixo é apresentada a curva de sensibilidade do olho humano que demonstra claramente que durante o dia as cores mais próximas do vermelho (maior comprimento de onda) causam maior sensibilidade luminosa. Já durante a noite, as cores mais próximas do violeta (menor comprimento de onda) têm maior intensidade de sensação luminosa.

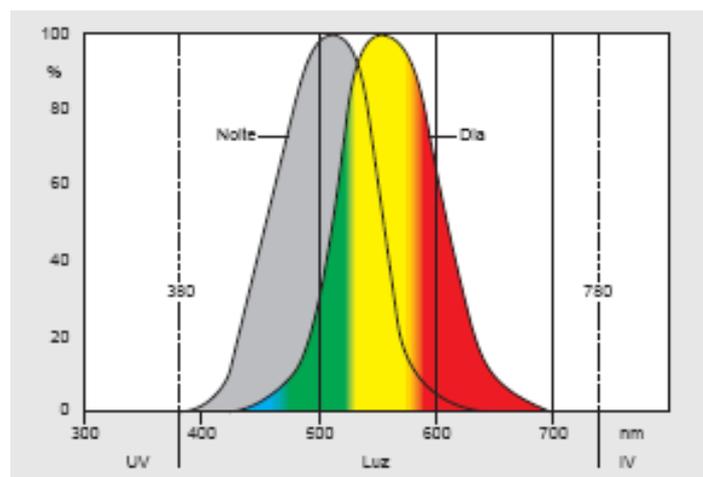


Figura 2.2 – Curva de sensibilidade do olho a radiações monocromáticas (fonte – Manual luminotécnico prático Osram)

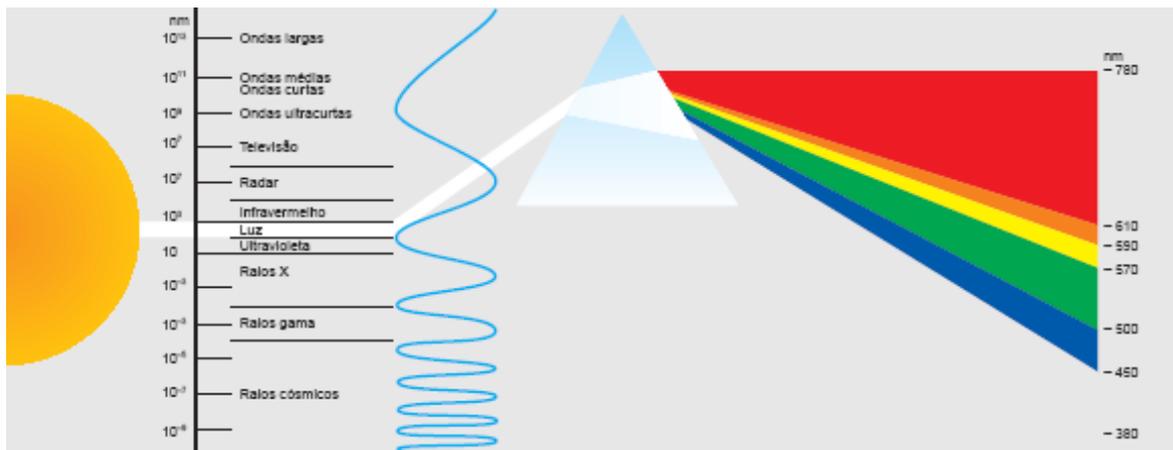


Figura 2.3 – Espectro eletromagnético (fonte – Manual luminotécnico prático Osram)

2.2.2 – Fotometria

A propagação da radiação visível medida com base na reação do olho humano é chamada fotometria. A fotometria é uma parte específica da radiometria. Esta última trata da medição e caracterização de qualquer onda eletromagnética, seja ela visível ou não.

Pelo grande excesso de unidades, a fotometria é tida como uma área bastante complicada da ciência. É importante que seus conceitos fiquem claros desde o início. Por isso, seguiremos com uma breve explicação de cada conceito e de suas unidades.

2.2.3 – Fluxo luminoso (ϕ)

O fluxo luminoso, ou potência luminosa, é a quantidade total de radiação luminosa emitida por uma fonte de luz a cada uma unidade de tempo. Sua unidade é o *lúmen* (lm).



Figura 2.4 – Fluxo luminoso (fonte – Guia de iluminação Philips)

Apenas como comparação, seguem na tabela abaixo alguns valores do fluxo luminoso de diferentes tipos de lâmpadas.

Tabela 2.1 – Exemplos de fluxo luminoso

Lâmpada	Potência [W]	Fluxo luminoso [lm]
Incandescente	60	864
Incandescente	100	1620
Fluorescente compacta	15	810
Fluorescente compacta	23	1400
Fluorescente tubular	20	1350
Fluorescente tubular	32	2700
Vapor metálico	400	35000
Vapor de sódio	400	48000
Vapor de mercúrio	400	22000
Luz mista	260	5500

2.2.4 – Intensidade luminosa (I)

Como uma fonte luminosa não emite sua radiação por igual em qualquer direção, é preciso definir a intensidade luminosa desta fonte. Ou seja, a intensidade luminosa de uma fonte de luz é definida como a potência de radiação concentrada numa direção específica por unidade de tempo. Sua unidade é a candela (cd).

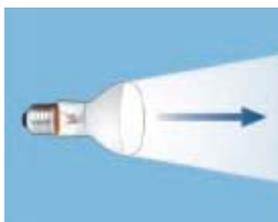


Figura 2.5 – Intensidade luminosa (fonte – Guia de iluminação Philips)

Suponha que uma fonte luminosa puntiforme esteja contida no centro de uma esfera. Se o fluxo luminoso é irradiado por toda esfera, a intensidade luminosa é dada pela razão do fluxo luminoso pelo ângulo sólido dessa esfera; assim, cada direção que se toma têm intensidade luminosa diferente.

$$I = \frac{\phi}{\omega}, \quad \omega \rightarrow \text{ângulo sólido} \quad (2.1)$$

O ângulo sólido (Ω) é aquele que, visto do centro de uma esfera, percorre uma dada área sobre a superfície da esfera.

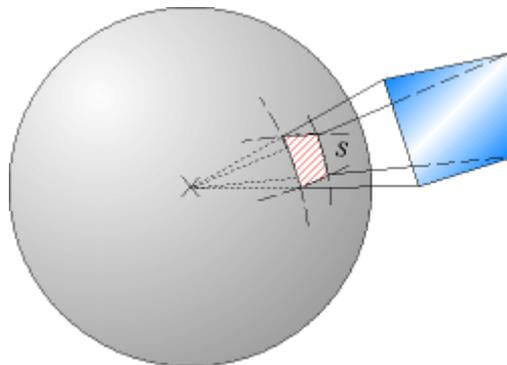


Figura 2.6 - Ângulo sólido (fonte – wikipedia, http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%82ngulo_s%C3%B3lido, acessado em 12/12/2006)

O ângulo sólido é medido em esterorradianos (sr) e é dado por:

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (2.2)$$

2.2.5 – Iluminância (E)

O fluxo luminoso que incide sobre uma superfície por unidade de tempo é denominado iluminância. Sua unidade de medida é o *lux*, e esta equivale a 1 lm/m².

$$E = \frac{\phi}{S} \quad (2.3)$$



Figura 2.7 – Iluminância (fonte – Guia de iluminação Philips)

2.2.6 – Luminância (L)

A sensação de claridade provocada por uma superfície iluminada transmitida para um observador é denominada Luminância. A luminância é definida como a intensidade luminosa por área iluminada e sua unidade é a cd/m^2 .

$$L = \frac{I}{S} \quad (2.4)$$

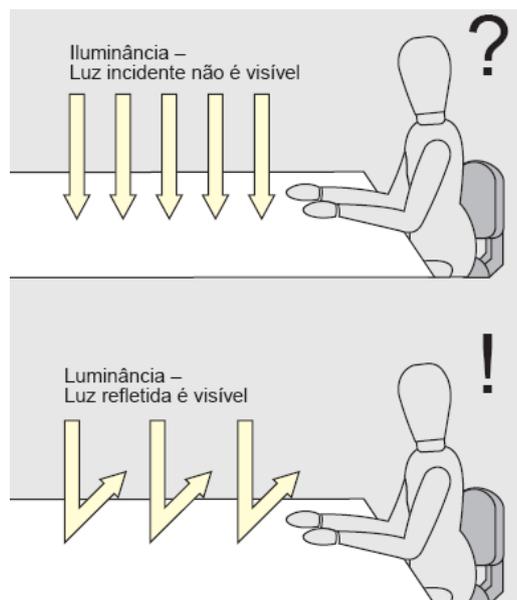


Figura 2.8 – Luminância (fonte – Manual luminotécnico prático Osram)

2.2.7 – Eficiência luminosa

A eficiência luminosa é calculada pela razão entre o fluxo luminoso e a potência consumida por uma fonte de luz. A eficiência luminosa é medida em lm/W .

$$\text{Eficiência} = \frac{\phi}{P} \quad (2.5)$$

Valores médios de eficiência luminosa podem ser observados na tabela abaixo.

Tabela 2.2 – Exemplos de eficiência luminosa

Lâmpada	Eficiência [lm/W]
Incandescente	14,4
Incandescente	16,2
Fluorescente compacta	54,0
Fluorescente compacta	60,9
Fluorescente tubular	67,5
Fluorescente tubular	84,4
Vapor metálico	87,5
Vapor de sódio	120,0
Vapor de mercúrio	55,0
Luz mista	21,2

2.3 – LUXÍMETRO

O luxímetro consiste geralmente num aparelho eletrônico portátil capaz de medir a iluminância num determinado ponto. Um sensor do tipo fotodiodo de silício é usado para a detecção da radiação incidente sobre o utensílio.

Níveis de iluminância podem ser constatados na Tabela 2.3 abaixo.

Tabela 2.3 – Níveis de iluminância

Condição	Iluminância [lux]
Escritórios	60 - 400
Lojas de departamento	100 - 600
Estacionamento interno	5 - 60
Depósitos	10 - 60
Dia ensolarado (luz	10000 -

direta)	1000000
Dia ensolarado (sombra)	2000 - 4000
Dia nublado	100 - 1000
Anoitecer	5 - 25
Amanhecer	5 - 25
Iluminação pública	0,5 - 10
Lua cheia	0,1
Lua minguante	0,01
Lua nova	0,001
Noite nublada	0,001

2.5 – DIMMER

O termo “dimmerizar” vem do inglês “*to dim*”, que quer dizer “escurecer”. O *dimmer* é um interruptor eletrônico que reduz a potência de uma lâmpada ou motor elétrico através da diminuição da corrente que flui através de seu circuito; reduzindo assim seu fluxo luminoso, velocidade ou torque, e é muito usado na climatização de ambientes e controle de motores.

No início da década de 1970, os *dimmers* só podiam ser usados com cargas resistivas, pois estas não oferecem uma corrente de retorno que pode danificar ou fazer com que o *dimmer* não opere direito. Hoje, com o avanço da eletrônica, alguns tipos de *dimmers* já podem ser usados com cargas indutivas.

O princípio de funcionamento dos *dimmers* é baseado no uso de TRIACs. Estes componentes de potência cortam a corrente que passa por eles quando há a inversão da mesma. Assim, um *dimmer* reduz o tempo da passagem da corrente alternada por um circuito, diminuindo portanto a potência do mesmo.

$$P = V \cdot I \quad (2.6)$$

Cada vez que um TRIAC corta a corrente, ao passar por zero a amplitude da mesma (no Brasil, a corrente passa por zero 120 vezes por segundo), o circuito do *dimmer* religa o dispositivo após um determinado tempo. Assim, quanto maior for o tempo de espera, menor será a potência gasta pela carga.

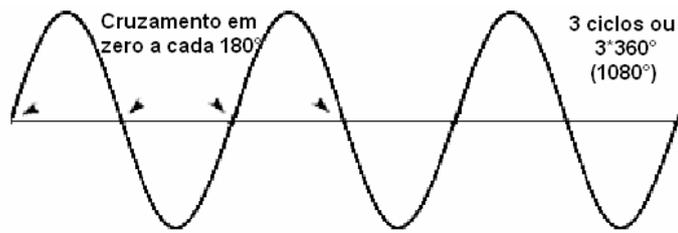


Figura 2.9 – Ciclo completo da corrente alternada.

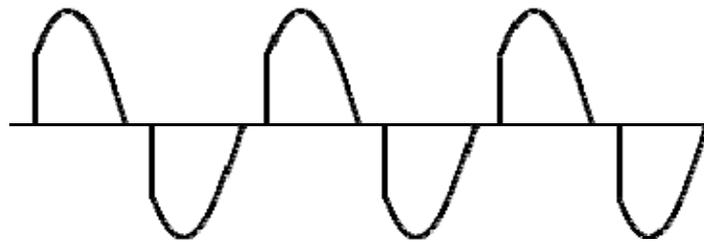


Figura 2.10 – Ciclo da corrente interrompido e religado após 2 ms.

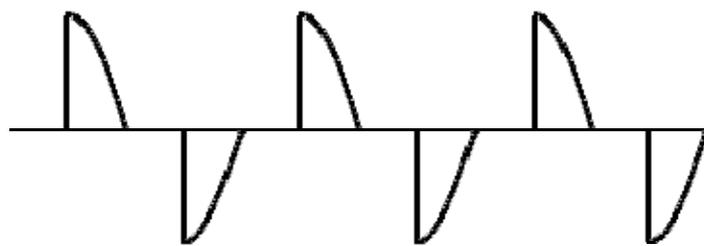


Figura 2.11 – Ciclo da corrente interrompido e religado após ~ 4,17 ms.

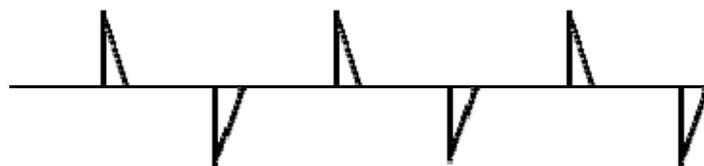


Figura 2.12 – Ciclo da corrente interrompido e religado após 6,33 ms.

O papel do *dimmer*, além de proporcionar conforto ambiental, é o de economizar energia, já que ele reduz a potência gasta pelo sistema lâmpada-*dimmer* ou lâmpada-reator-*dimmer*.

2.6 – FOTODETECTORES

Existem mecanismos que conseguem medir o fluxo de fótons ou a potência óptica convertendo a energia dos fótons absorvidos em uma forma que possa ser medida.

Exemplos como o filme fotográfico ou o receptor de controle remoto são os mais comuns que ainda podem ser encontrados hoje. Tais mecanismos são denominados fotodetectores.

As duas classes principais de fotodetectores são:

2.6.1 – Detectores térmicos

Os detectores térmicos convertem a energia dos fótons captados em calor. Como qualquer operação com calor requer tempo, estes são dispositivos lentos e pouco eficientes.

2.6.2 – Detectores fotoelétricos

Detectores fotoelétricos são caracterizados por converterem a energia dos fótons na geração de cargas elétricas. Existem basicamente dois tipos de efeitos em detectores fotoelétricos:

2.6.2.1 – Efeito externo

O efeito externo acontece quando há a liberação de elétrons com a incidência de luz sobre o material. Os elétrons livres que se desprendem do material fotoelétrico (catodo) viajam pelo vácuo e podem ser capturados por uma placa metálica (anodo), o que dá início à circulação de corrente se houver diferença de potencial envolvida no processo.

2.6.2.2 – Efeito interno

No efeito interno, a incidência de luz não é suficiente para desprender os elétrons do material fotoelétrico, mas é suficiente para aumentar a condutividade deste material – fenômeno conhecido como fotocondutividade.

2.6.3 – L.D.R.

O LDR – do inglês *Light dependent resistor* – é um dispositivo fotoelétrico de efeito interno fabricado com sulfeto ou seleneto de cádmio que têm seu valor de resistência

variável conforme a incidência de luz sobre sua superfície. Seus valores de resistência variam geralmente entre 20 MΩ na escuridão e 100 Ω sob luz intensa.

2.6.4 – Fotodiodo PIN

Um diodo é um dispositivo semicondutor que deixa a corrente fluir sobre ele somente em uma determinada direção. Se for aplicada tensão reversa sobre esse diodo, ele apresentará uma corrente reversa de alguns μA; mas, independente dessa tensão, esse valor permanece praticamente constante.

Um fotodiodo funciona como um diodo; porém, sua corrente reversa aumenta com a incidência de luz. É essa operação fotovoltaica que permite a detecção da intensidade de radiação luminosa sobre o dispositivo.

Dentre os tipos de fotodiodo disponíveis, o PIN é uma opção interessante não só por sua resposta rápida, mas por ter sua à iluminação linear. Como pode ser observado na Figura 2.13.

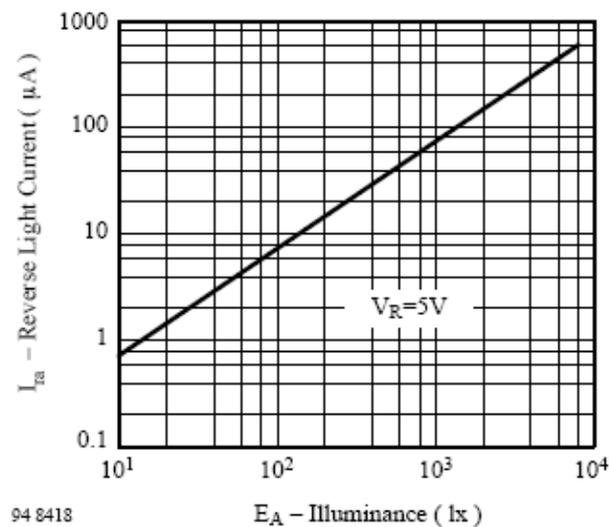


Figura 2.13 – Corrente reversa vs. Iluminância do fotodiodo PIN BPW34 (fonte – *data sheet* do BPW34 da Vishay)

2.7 – MODULAÇÃO

A modulação de sinais consiste num processo de transportar a informação contida em um sinal com uma determinada frequência, em outro sinal com uma frequência mais alta ou

baixa, dependendo do objetivo que se queira alcançar. Para que uma onda sonora possa ser transmitida por rádio, ela deve ser modulada em uma frequência muito mais alta para que uma antena seja capaz de irradiá-la. Ao ser captado pela antena do rádio, esse sinal é então demodulado para sua frequência original para que as caixas de som possam transmiti-lo.

Pode-se também realizar a modulação de forma a transformar um tipo de onda em outra com propriedades diferentes. Por exemplo, para que a mesma onda sonora seja transmitida para um computador, toda a informação contida nela deve ser transportada para um sinal com apenas pulsos de amplitude definida, porém com espaçamento entre os pulsos determinado pela informação contida no sinal original.

O termo transportar se encaixa perfeitamente na modulação de sinais, pois para todo processo de modulação deve existir o sinal a ser modulado e uma onda que a carrega escondendo o sinal na faixa de frequência que se deseja modular ou na forma que se deseja transmitir. Assim, por exemplo, para modulação analógica usá-se uma senoide; para digital, pulsos.

2.7.1 – Modulação AM

A abreviação AM é um termo traduzido do inglês como “modulação por amplitude”. Na modulação AM, um sinal é trasladado para uma frequência determinada e fixada pela onda portadora. Esta portadora terá sua amplitude variada pelo sinal transmitido como se este fosse um invólucro da primeira. Para melhor visualizarmos o resultado dessa operação, vejamos a figura 2.14 abaixo.

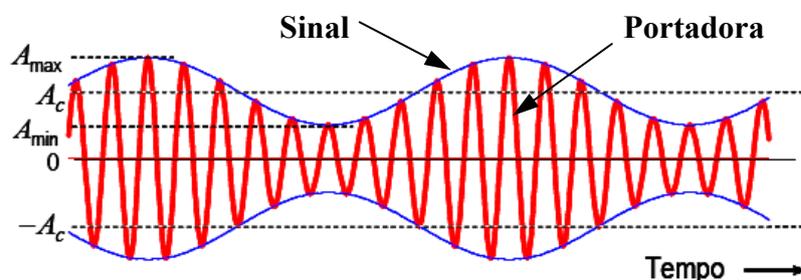


Figura 2.14 – Modulação AM (modificado – Apostila do professor Lúcio Martins da Silva, UnB, 2005)

Na figura, podemos observar como a amplitude da portadora varia entre A_{\max} e A_{\min} ; que são, respectivamente, a amplitude máxima e mínima do sinal a ser modulado. É nítida também a diferença de frequências entre as duas ondas.

A grande vantagem da modulação AM é que nela não se utiliza uma extensa faixa de frequências; dependendo do método de modulação a banda necessária é igual à banda do sinal a ser transmitido. Sua desvantagem é que, por ser uma modulação linear, ela é mais passível de interferências com a distância, pois sua potência diminui, causando a perda na amplitude do sinal (a informação é representada por amplitude, uma variável difícil de manter constante em um sistema de comunicação).

2.7.2 – Modulação FM

A “modulação em frequência” é um tipo de modulação angular em que a frequência da onda portadora varia dentro de uma banda determinada, enquanto o sinal a ser modulado, $m(t)$, varia sua amplitude. Digamos que a onda portadora possa variar numa faixa de frequências limitadas por f_{\max} e f_{\min} . Assim, quando o sinal $m(t)$ atingir a amplitude $-A_m$, $f(t)$ estará em f_{\min} ; e f_{\max} quando $m(t)$ for A_m .

A figura 2.15 abaixo mostra o sinal $m(t)$ a ser modulado.

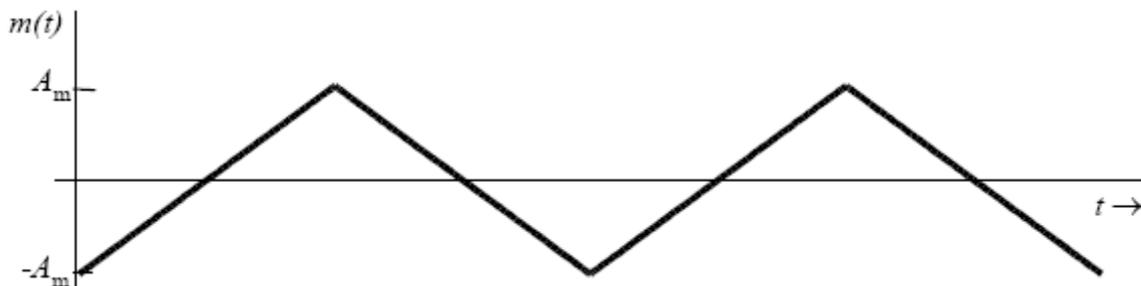


Figura 2.15 – Sinal a ser modulado em frequência (fonte - Apostila do professor Lúcio Martins da Silva, UnB, 2005)

Note que o sinal modulado $s(t)$ tem amplitude A_c igual à da portadora e essa amplitude não interfere na modulação FM.

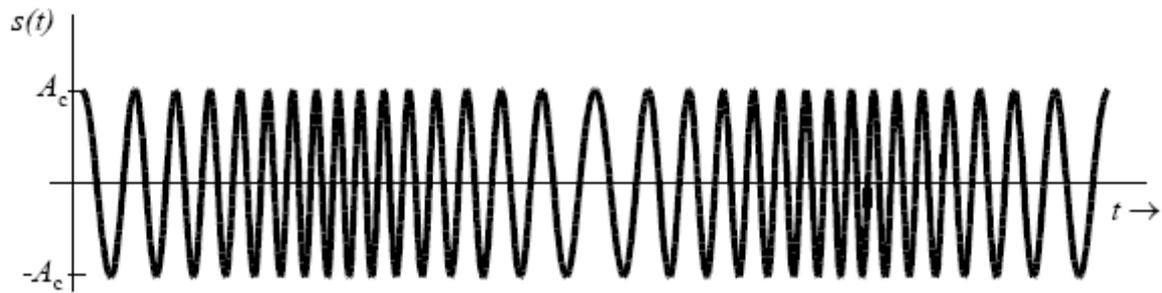


Figura 2.16 – Sinal modulado em frequência (fonte - Apostila do professor Lúcio Martins da Silva, UnB, 2005)

A vantagem da modulação FM é que ela não sofre interferência com a perda de potência, pois sua amplitude não influencia no sinal de saída. Sua grande desvantagem é o uso de uma faixa determinada de frequências que, dependendo do sinal, pode se tornar muito extensa – aproximadamente 4 vezes a banda do sinal a ser transmitido.

2.8 – MULTIPLEXAÇÃO DE SINAIS

Quando várias estações de rádio são transmitidas ao mesmo tempo, seus sinais são separados numa determinada faixa de frequências e irradiados por uma antena. Para que não haja interferência com outras estações, essa faixa deve ser respeitada e diferenciada da faixa de frequências de outra estação, pois quando estes sinais são transmitidos eles irão se sobrepor. Por exemplo, suponha que uma determinada estação use a banda de frequências entre 95 e 105 MHz. Se uma segunda estação de rádio usar a mesma faixa, esta segunda irá interferir com a primeira estação. Por outro lado, se a segunda estação usar a banda compreendida entre 110 e 120 MHz, não haverá interferência por parte de nenhuma das duas, e a multiplexação destes sinais dará ao ouvinte a liberdade de escolher entre as estações. Este tipo de multiplexação é conhecido como FDM (multiplexação por divisão de frequências).

Em determinadas situações, a multiplexação de sinais em frequência não é possível, o que leva o projetista a escolher por outro tipo. Uma outra multiplexação muito usada é a TDM (multiplexação por divisão do tempo). Nela, os sinais são transmitidos na mesma faixa de frequências, mas em intervalos de tempo diferentes. Enquanto um sinal está sendo transmitido, o outro fica em espera e vice-versa.

Existem muitas outras formas de se multiplexar sinais, porém a FDM e a TDM foram as pioneiras.

2.9 – PLACA DE SOM

A placa de som é um dispositivo de interface do computador que serve primeiramente como um conversor analógico-digital. O papel da placa de som é converter as ondas sonoras em bits de informação binária ou vice-versa, de forma que o computador possa interpretar o som ou transmiti-lo para as caixas de som que estiverem conectadas a ele.

2.9.1 – Conversor A/D

Um sinal analógico possui infinitos valores que o descrevem, pois seus níveis de amplitude estão numa escala que compreende o conjunto dos números reais, tornando impossível catalogar cada valor que seus infinitos pontos podem ter. Para tornar esse sinal numa forma que o computador possa captar, é preciso usar um conversor que digitalize esses níveis de amplitude num código binário. Um conversor A/D (analógico-digital) é um circuito que exerce essa função.

O conversor A/D trabalha amostrando os níveis de tensão do sinal analógico e quantizando-os para transformá-los em valores numéricos discretos. Ele compara estes níveis de tensão com uma escala pré-determinada e arredonda cada ponto para um nível mais próximo associado a um número binário. Como podemos ver na figura abaixo, vários pontos da onda analógica são comparados com estes níveis quantizados para compor o sinal digital amostrado. Quanto maior for o número de bits usado para descrever este sinal, maior será o número de níveis de quantização e mais fiel será o resultado digitalizado.

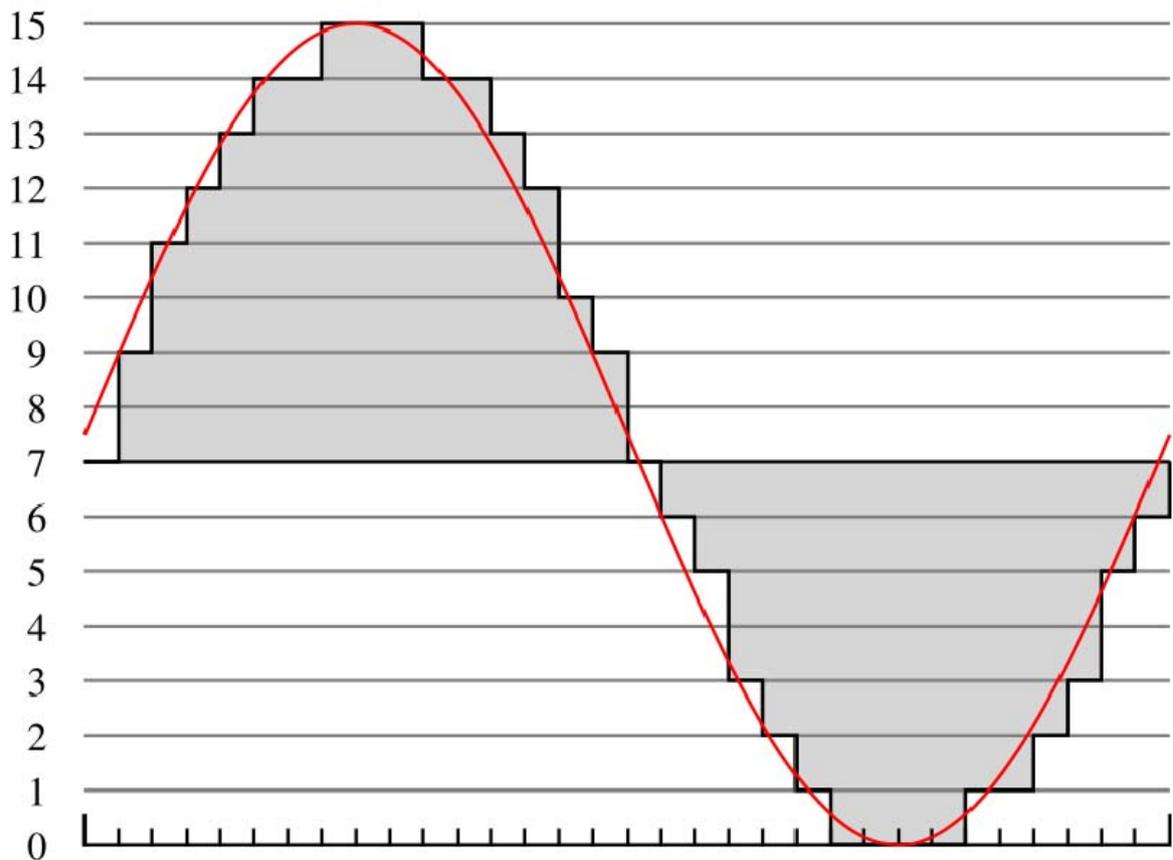


Figura 2.17 – Amostragem de uma onda senoidal com 16 níveis de quantização(fonte – internet)

Na figura 2.17, cada nível representado por um número de 0 a 15 é associado a um código binário; nesse caso, 4 bits são suficientes para representar os 16 níveis de quantização ($2^4 = 16$). Este código pode agora ser interpretado pelo computador.

2.9.2 – Taxa de amostragem

Como um sinal digital possui um número de níveis limitados, para que este sinal possa ser reconstruído perfeitamente em um sinal analógico, sem perda na qualidade, ele deve obedecer ao teorema da amostragem, que diz que um sinal deve ser amostrado um número de vezes por segundo no mínimo igual ao dobro de sua banda. Ou seja, se um sinal possui banda igual a 20 Hz, ele terá de ser amostrado 40 vezes por segundo para que não haja perda de informação.

Nas placas de som, a taxa de amostragem é de 44100 Hz, pois a banda de frequências de trabalho é 20 kHz (a faixa de áudio). Esta taxa pode ser diminuída, mas como dito antes, o sinal reconstruído terá imperfeições por sua fidelidade ser menor.

2.9.3 – Entradas de uma placa de som

Normalmente, uma placa de som possui duas entradas em pinos estéreo de 3,5 mm (o mesmo *plug* usado em fones de ouvido convencionais), a entrada do microfone e a entrada do *line in*.

A entrada do microfone, como o nome diz, serve para a conexão de microfones. Esta entrada é geralmente composta por uma fonte de tensão que varia de 3 a 5 V para alimentar o microfone e tem impedância entre 600 ohms a 2,2 kΩ. Ela é uma entrada bastante precária em termos de controle de ruído e níveis de resposta em frequência, o que a torna prática apenas para comunicação de voz e não para gravações de música ou algo do gênero em que se queira uma boa qualidade sonora.

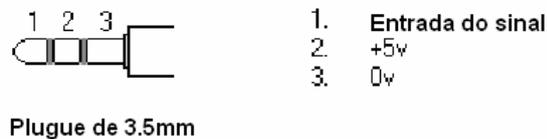


Figura 2.18 – Configuração do pino de entrada de microfone da placa de som.

A entrada *line in* é usada para captura de sinais com tensão entre 500 mV a 2 V e tem impedância de entrada que varia entre 10 a 47 kΩ. Esta entrada é usada para a gravação de aparelhos de reprodução sonora, como *MP3 players* e toca-fitas. Ela também é preparada para aquisição de sinais estéreo.

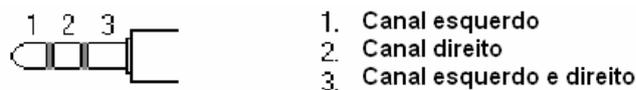


Figura 2.19 – Configuração do pino de entrada *line in* da placa de som.

2.10 – MATLAB

2.10.1 – Visão geral

O MATLAB é um interpretador de comandos voltados para a matemática. Oferece pacotes de simulação para computação, visualização, e programação em um ambiente simples onde os problemas e as soluções são expressos em notação matemática familiar.

MATLAB é um sistema interativo cujo elemento de dados básico é uma matriz que não requer dimensionamento. Isto permite que você resolva muitos problemas computacionais técnicos, especialmente aqueles com formulações de matriz e de vetor, em uma fração do tempo que se gastaria para escrever um programa semelhante em linguagem Fortran, Basic ou C.

O nome MATLAB vem de *M*atrix *L*aboratory. Originalmente escrito para fornecer acesso fácil aos softwares de matriz desenvolvidos pelos projetos de LINPACK e de EISPACK. Hoje, as ferramentas do MATLAB incorporam as bibliotecas de LAPACK e de BLAS.

O programa consiste em cinco partes principais:

- O ambiente de desenvolvimento, que é o conjunto de ferramentas que nos ajudam no uso das funções e arquivos, muitas dessas ferramentas oferecendo interfaces gráficas;
- A biblioteca de funções matemáticas que possui uma vasta coleção de algoritmos computacionais, que vão desde funções elementares como a soma, até funções mais complexas como a inversa de uma matriz;
- A interface interpretadora MATLAB trabalha com matriz/conjuntos de alto grau de controle dos parâmetros de fluxo;
- Os gráficos do MATLAB que apresentam facilidades em mostrar matrizes como gráficos, formulação de apresentações e construção de animações;
- A interface de programação aplicada que permite a escrita de programas em Fortran e C interagindo com o MATLAB.

2.10.2 – Ferramenta de aquisição de dados

O programa MATLAB apresenta uma família de funções, ferramentas e bibliotecas que servem a aplicações específicas, chamadas *toolboxes*. *Toolboxes* são coleções de *scripts* do MATLAB (arquivos “.M”) que estendem o ambiente do programa para resolver classes particulares de problemas. Elas podem ser usadas para diversos fins quando tratamos de processamento de sinais, o presente trabalho foca sua atenção na aquisição de dados usando a *Toolbox Data Acquisition* ou Daq.

A ferramenta Daq é um conjunto de funções *M-file* (arquivos “.M”) e bibliotecas de *links* dinâmicos ou DLLs (*Dynamic Link Libraries*) *MEX-files* que se referem a códigos Fortran ou C. *M-files* são simples arquivos de texto onde podemos colocar comandos do programa. Quando o arquivo é rodado o MATLAB lê e executa os comandos em ordem exatamente como se fossem digitados seqüencialmente no *prompt* do programa.

2.10.2.1 – Processo de aquisição

A ferramenta fundamental da aquisição dos dados é um *MEX-file* DLL que realiza as seguintes tarefas:

- Armazenar os objetos de entrada do dispositivo e suas respectivas propriedades que controlam o aplicativo de aquisição.
- Controlar a sincronização dos eventos.
- Controlar o armazenamento de dados adquiridos ou enfileirados em espera.

Enquanto a ferramenta executa estas tarefas o MATLAB fica disponível para outras tarefas tais como a análise de dados adquiridos. Ou seja, a ferramenta e o MATLAB são independentes.

A aquisição de dados é feita através de um controle de *software* e *hardware* que faz a coleta de informações através de uma entrada estipulada pelo usuário, essa entrada deve ser um *hardware* com algum componente sensor, como um acelerômetro, termômetro ou

microfone. Os componentes envolvidos e as tarefas do *MEX-file* durante uma aquisição de dados podem ser visualizados na figura a seguir:

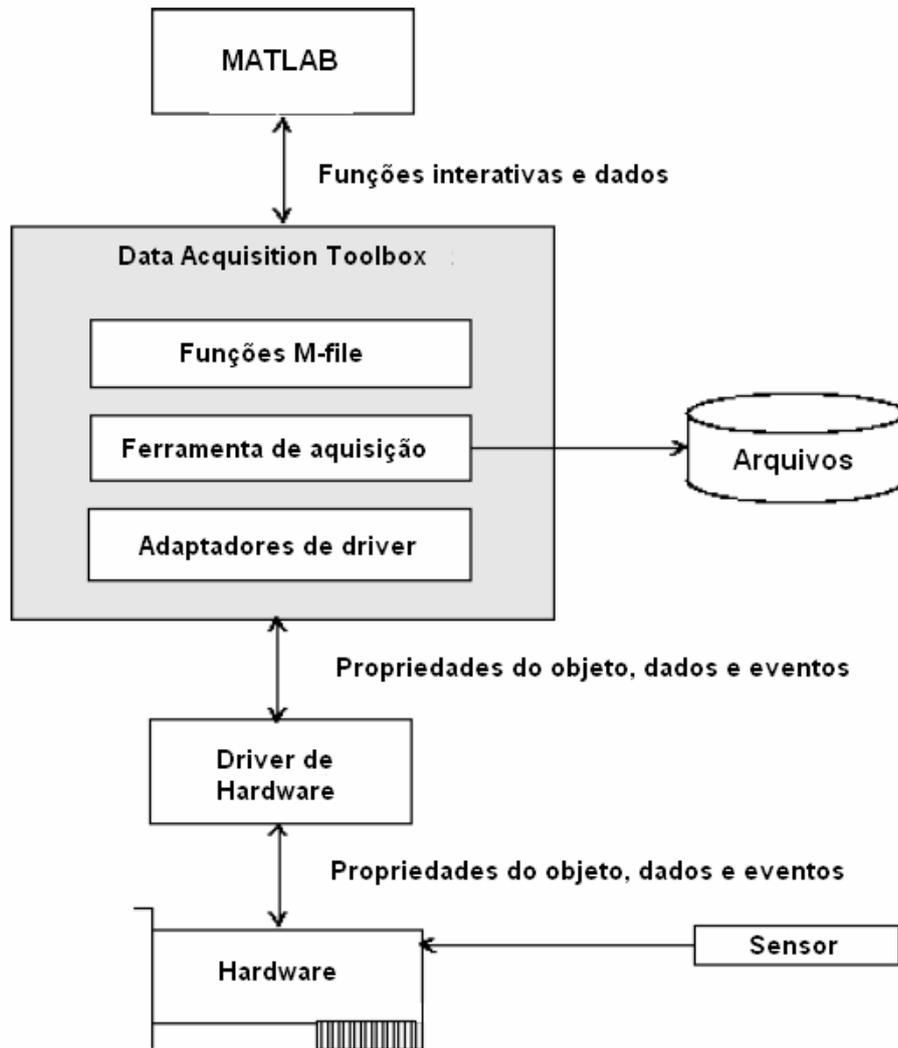


Figura 2.20 – Diagrama dos componentes da *toolbox* (fonte – *Data acquisition Toolbox User's Guide* em <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/daq/daq.html>)

2.10.2.2 – Fluxo de aquisição de dados

Aquisição de dados significa dizer que dados estão fluindo do *hardware* para a ferramenta de aquisição, onde são temporariamente armazenados em memória. São temporariamente armazenados porque podem ser sobrescritos. A taxa com que os dados são sobrescritos varia de acordo com diversos fatores, incluindo a memória disponível, a taxa com que a aquisição é feita e o número de canais de *hardware* pelos quais os dados são adquiridos.

Os dados armazenados não ficam automaticamente disponíveis na área de trabalho do MATLAB. Para tanto devemos explicitamente extrair os dados da ferramenta usando a função *getdata*.

O fluxo de dados adquiridos passa por duas etapas independentes:

- Os dados adquiridos através do *hardware* são armazenados na ferramenta.
- Os dados são extraídos da ferramenta e armazenados no MATLAB, ou extraídos para um disco de armazenagem.

Os dois passos são ilustrados na figura a seguir:

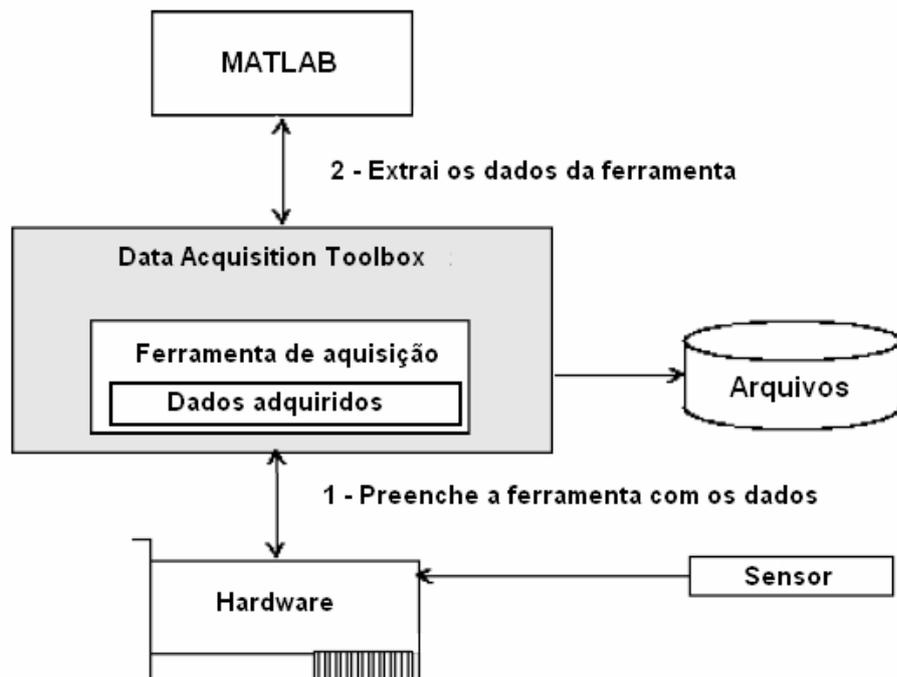


Figura 2.21 – Esquemático do fluxo dos dados coletados (fonte – *Data acquisition Toolbox User's Guide* em <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/daq/daq.html>)

2.10.3 – Sessão de aquisição de dados

O foco deste trabalho é a facilidade de uso e disponibilidade em muitos computadores pessoais das entradas de microfone das placas de som. Então iremos aprofundar os passos de uma sessão de aquisição apenas para a entrada de microfone.

Uma sessão de aquisição consiste de todos os passos para a aquisição de dados através da entrada de microfone. Os passos são:

1. Criação de um dispositivo objeto de entrada analógica – A criação do dispositivo é feita usando a função de criação *analoginput*. O dispositivo objeto é o elemento básico para acessar o dispositivo de hardware;
2. Adição de canais – Obrigatoriamente, devemos adicionar canais ao dispositivo criado, canais são adicionados apenas a objetos de entrada analógica. Canais são os elementos básicos de *hardware* com os quais adquirimos dados;
3. Configuração das propriedades – Para estabelecer o comportamento do dispositivo criado devemos atribuir valores a propriedades usando a função *set*. Podemos configurar propriedades a qualquer momento. Entretanto algumas propriedades somente podem ser modificadas quando o objeto não está sendo executado. Este passo pode ser descartado se aceitarmos as especificações padrão de propriedades;
4. Iniciar a aquisição – Para iniciar a aquisição de dados devemos executar o dispositivo objeto com a função *start*. Aquisições ocorrem em plano de fundo, enquanto o MATLAB continua sendo executado. Podemos executar outros comandos enquanto a aquisição acontece;
5. Esperar a aquisição completar – Em muitos casos é necessário esperar a aquisição completar antes de fazer qualquer outra tarefa com o MATLAB. Usando a função *wait* o MATLAB entra em pausa até que todo o tempo de aquisição seja completo;
6. Extração dos dados adquiridos – Após a aquisição de dados é necessário extraí-los para a área de trabalho do MATLAB como já foi dito antes. Tal extração é feita através da função *getdata*;
7. Limpar a memória – Quando o dispositivo objeto de entrada analógica não é mais necessário, podemos removê-lo da memória usando a função *delete*. Podemos também removê-lo da área de trabalho do MATLAB usando a função *clear*;

8. Esboçar um gráfico de amostras versus tempo – Geralmente é necessário visualizar uma aquisição em um gráfico para podermos entendê-la ou melhor visualizar um determinado instante da aquisição. A função *plot* é usada para tal operação.
9. Realização da transformada de Fourier dos dados – Em muitos casos a visualização de um resultado no domínio do tempo não é suficiente para tirarmos certas conclusões. A passagem dos dados para o domínio da frequência pode ser de grande valia na determinação de certos resultados;
10. Determinação do máximo valor de amostra – Essa etapa está relacionada à etapa anterior. Quando analisamos um conjunto de amostras no domínio da frequência, quase sempre queremos determinar o valor da amostra de maior amplitude. Essa amostra está relacionada à frequência central do sinal adquirido.

Para ver as linhas de comando com explicações práticas de cada um dos passos, veja o apêndice A.

2.11 – OSCILADOR CONTROLADO POR TENSÃO

O VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) ou Oscilador Controlado por Tensão é um dispositivo que funciona controlando a frequência do sinal em sua saída a partir da amplitude da tensão em sua entrada.

2.11.1 – O Circuito Básico

O VCO é um de três componentes básicos de um dispositivo maior e mais complexo. Juntamente com um multiplicador servindo de detector de fase ou comparador de fase e um filtro em *loop* o VCO forma o PLL (*Phase Locked Loop*) ou Elo Travado em Fase.

O circuito da figura abaixo mostra o circuito integrado do PLL, que possui o VCO que será objeto de nossos estudos.

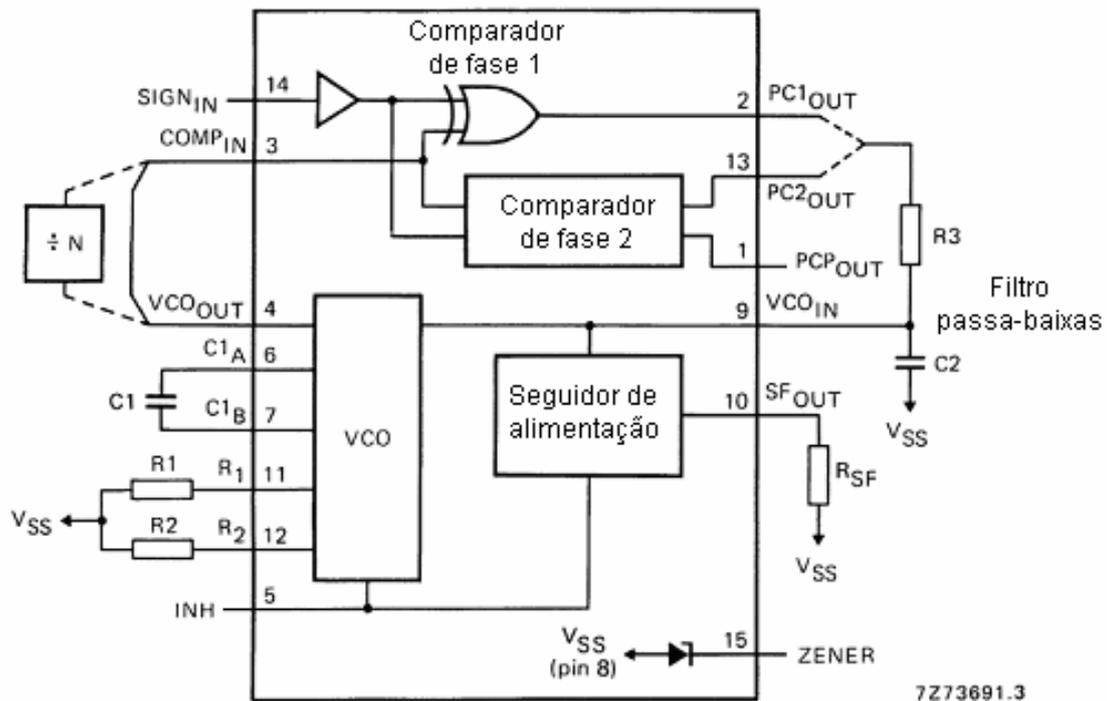


Figura 2.22 – Circuito integrado do PLL CD 4046 (fonte – *Data sheet* do PLL 4046B da Philips)

O esquemático de figura acima é o encontrado no *datasheet* do PLL comercial adotado em nossos estudos, o circuito integrado CD 4046B, que é fornecido por diversos fabricantes como a Phillips ou a Vishay.

2.11.1.1 – Funcionamento do VCO

O VCO integrado no circuito do PLL é a parte mais importante para este estudo. Seu funcionamento e uso podem ser separados, ou seja, não é necessário que ele funcione em conjunto com os demais dispositivos do circuito.

O ajuste na frequência do VCO de acordo com sua tensão de entrada ocorre da seguinte forma: Seja a tensão de entrada de um VCO igual $e_0(t)$, sua saída será um sinal do tipo senoidal com uma frequência dada por:

$$\omega(t) = \omega_c + ce_0(t) \quad (2.7)$$

onde c é a constante do VCO e ω_c é a frequência de corrida livre do VCO, ou seja, a frequência do sinal quando $e_0(t) = 0$. O processo de ajuste da frequência de saída do VCO é linear com relação à tensão de entrada.

O VCO do PLL funciona basicamente da mesma forma que o modelo teórico, entretanto devemos elucidar alguns fatores de relevância prática. Façamos agora uma análise do funcionamento do VCO como parte independente do circuito utilizando, em auxílio, a figura 2.22 referente ao circuito integrado do PLL.

O VCO requer um capacitor C1 e dois resistores, R1 e R2 externos como indicado na figura. O resistor R1 e o capacitor C1 determinam a faixa de operação da frequência do VCO. O resistor R2 determina qual será a frequência de *offset* do dispositivo.

O circuito do PLL deve ser alimentado entre o terra, terminal V_{SS} e o terminal de alimentação V_{DD} com uma tensão variando entre 5 Volts e 15 Volts, essa será a tensão de alimentação do VCO. O VCO, como pode ser visto na Figura 2.22, além da entrada de alimentação e do terra, possui uma entrada que será a entrada de controle da frequência do sinal de saída denominada VCO_{IN} e um terminal de saída denominado VCO_{OUT} , onde é fornecido o sinal de saída. Essa entrada deve ter um valor máximo igual ao da tensão de alimentação do circuito e um valor mínimo igual a zero Volts, enquanto o sinal de saída no terminal VCO_{OUT} assume sempre um valor de amplitude constante, igual ao da tensão de entrada. A variação da frequência do sinal de saída é linearmente relacionada à tensão na entrada VCO_{IN} , quando a tensão é mínima, ou seja zero, a frequência é a mínima da faixa de operação, quando a tensão é máxima, igual a tensão de alimentação, a frequência assume o valor máximo da faixa de operação escolhido para o VCO.

A seleção dos componentes R1, R2 e C1 é feita a partir da escolha dos valores de frequência central e faixa de operação escolhida para cada VCO. Dada uma frequência mínima podemos achar os valores do capacitor e do resistor R2 através do gráfico da Figura 2.23. Sabendo também a frequência máxima de operação podemos achar o valor do resistor R1, entrando com o valor da razão entre a frequência máxima e a frequência mínima no gráfico da Figura 2.24, encontramos o valor da razão entre o resistor R2 e o

resistor R1. Dividindo R2 pelo valor encontrado obtemos o valor de R1. Os valores dos gráficos são relativos às frequências amostradas quando a tensão de controle do VCO_{IN} é a metade da tensão de alimentação em V_{DD} . O gráfico das tensões típicas de *offset* tem apenas as retas traçadas para valores de resistência e tensão mais comuns, entretanto podemos escolher quaisquer valores de R2 fazendo medições experimentais. Tais medições entretanto tornam-se simples ao nos guiarmos pelas retas traçadas no gráfico.

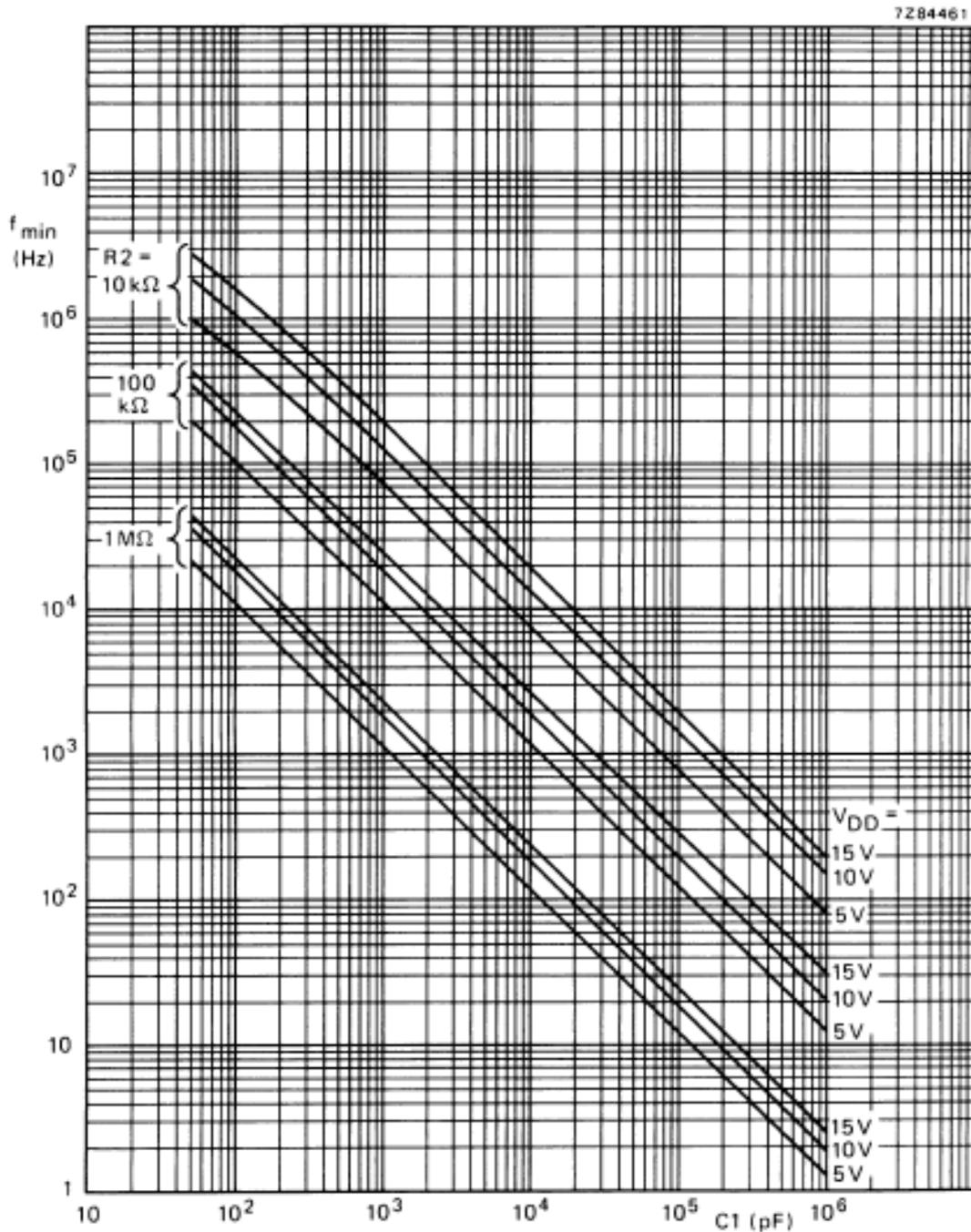


Figura 2.23 – Típicas frequências de *offset* em função do capacitor C1 (fonte – *Data sheet* do PLL 4046B da Philips)

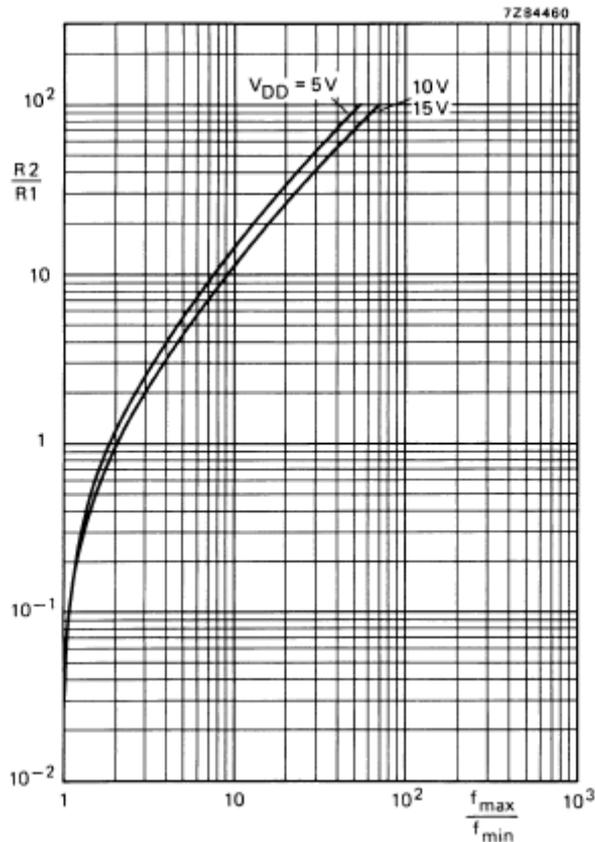


Figura 2.24 – Típica relação de R2/R1 em função da relação f_{max}/f_{min} (fonte – *Data sheet* do PLL 4046B da Philips)

2.12 – FILTRO PASSA-BAIXAS

O filtro passa-baixas é um circuito eletrônico que permite que apenas sinais de baixas frequências sejam transmitidos por ele. Ele atenua ou rejeita os de alta frequência. A resposta de um filtro passa-baixas ideal é representado pela linha tracejada da Figura 2.25, com a resposta de um filtro realizável indicada pela linha contínua.

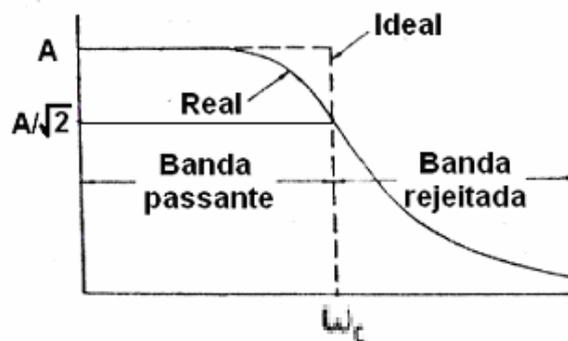


Figura 2.25 – Resposta em amplitude do filtro passa-baixas

A banda passante e a banda cortada do filtro ideal são divididas no ponto de frequência igual a ω_c . Fica evidente pela figura que essa não pode ser aproximada para representar a frequência de corte do filtro real. A frequência de corte de um filtro real é definida pelo ponto onde a amplitude do sinal é de 0,707 vezes o seu valor máximo de amplitude, ou seja:

$$\omega_c = A / \sqrt{2} \quad (2.8)$$

CAPÍTULO 3 – ECONOMIA ENERGÉTICA

3.1 – ESTUDOS DE ECONOMIA

A economia gerada com o uso de *dimmers* é comprovada com base em estudos realizados pelos fabricantes mais importantes na área de iluminação e dimmerização de ambientes. São estes: Philips, Osram e Lutron Electronics.

No catálogo de reatores eletrônicos da Osram [17], um estudo usando lâmpadas fluorescentes de 58 W mostra que se pode ter uma economia de até 60% de energia elétrica em ambientes que têm incidência de luz natural. Esta economia pode chegar a 70% se ainda for associado ao sistema um sensor de presença. O consumo em kWh por ano pode ser verificado na Tabela 3.1 abaixo. Estes valores foram calculados para o exemplo mostrado na Figura 3.1.

Tabela 3.1 – Consumo de energia por tipo de reator para lâmpadas fluorescente (fonte – Manual Osram de sistemas eletrônicos)

Consumo de energia em diferentes soluções			
Tipo de reator	Magnético	Eletrônico	Dimmerizável
Luminária 1	159 kWh/a	125kWh/a	27 kWh/a
Luminária 2	159 kWh/a	125kWh/a	60 kWh/a
Luminária 3	159 kWh/a	125kWh/a	86 kWh/a

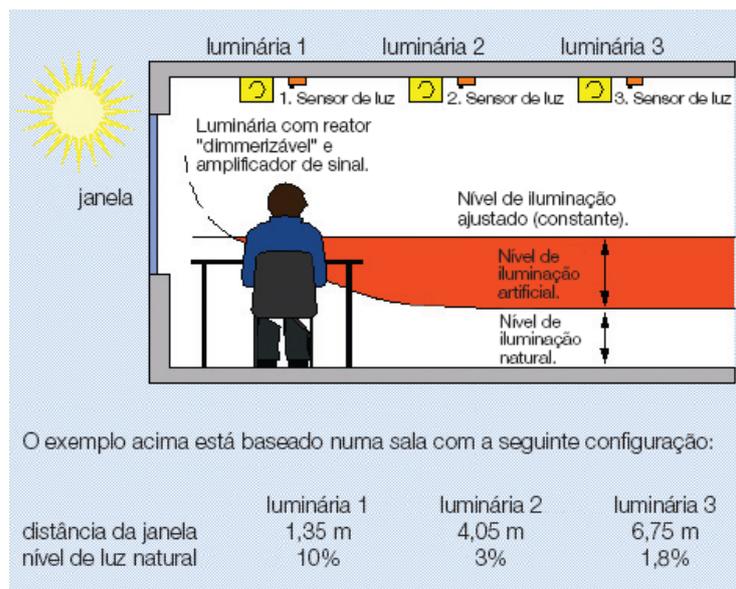


Figura 3.1 – Nível de luz natural pela proximidade a uma janela (fonte – Manual Osram de sistemas eletrônicos)

A fabricante Lutron Electronics mostra em sua *homepage* [18] que o uso de *dimmers* para redução do fluxo luminoso de lâmpadas incandescentes, além de economizar energia elétrica, ainda aumenta a vida útil das lâmpadas. Os resultados estão apresentados da Tabela 3.2 abaixo.

Tabela 3.2 – Economia energética e aumento da vida útil de lâmpadas incandescentes pela dimmerização (fonte – Lutron Electronics)

Dimmerização	Economia elétrica	Aumento da durabilidade de bulbos incandescentes
10%	10%	2 vezes
25%	20%	4 vezes
50%	40%	20 vezes
75%	60%	> 20 vezes

A revista *The Construction Specifier* [19] lançou um artigo em agosto de 2005 onde ela mostra que diferentes tipos de controle de iluminação têm resultados positivos na economia energética; e mostra também as que têm melhor eficiência energética nas três figuras apresentadas abaixo. (3.2, 3.3 e 3.4)

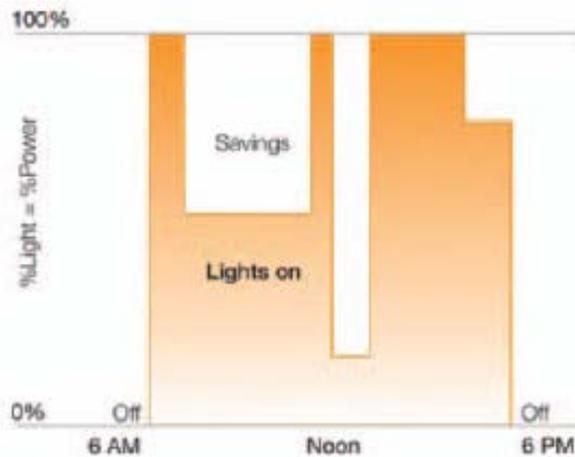


Figura 3.2 – Economia de energia elétrica com controle manual de dimmerização (fonte – The Construction Specifier, Agosto 2005)

Na Figura 3.2 está representado o gráfico da porcentagem de iluminação pela porcentagem de potência consumida das 12 horas que compreendem o dia quando há um controle manual da dimmerização de um espaço pequeno, como uma sala de reuniões. A economia gerada por esta configuração é de aproximadamente 30% no consumo de energia elétrica.

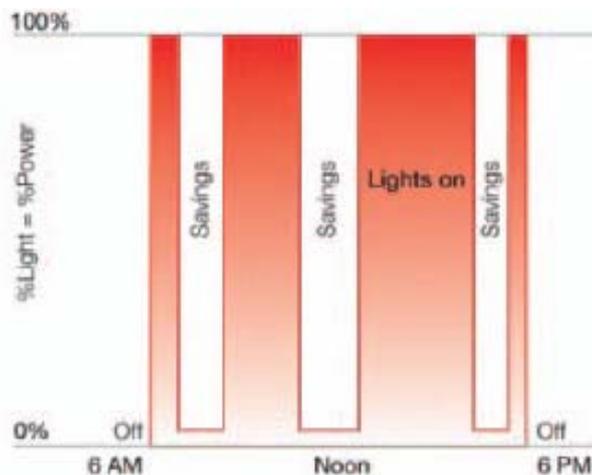


Figura 3.3 – Economia de energia elétrica com controle automático de desligamento por sensores de presença (fonte – The Construction Specifier, Agosto 2005)

A Figura 3.3 mostra o gráfico da iluminação pela porcentagem de potência gasta nas 12 horas de um dia quando se usam apenas sensores de presença num determinado local. O gráfico ilustra o estado das lâmpadas como ligadas ou desligadas. Nesta configuração a economia é de aproximadamente 40%, como podemos ver pelas áreas em branco da figura acima, no consumo de energia elétrica.

Este sistema apresenta maior economia que o sistema com *dimmer* controlado manualmente.

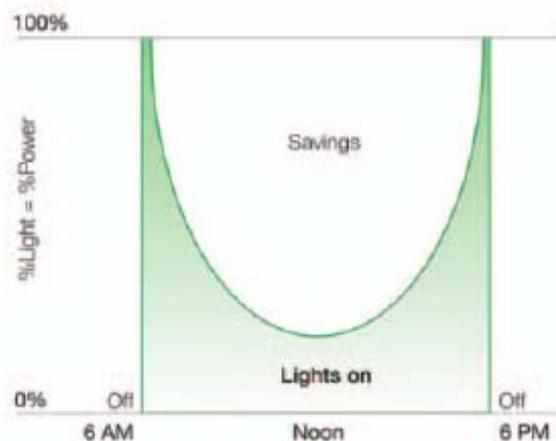


Figura 3.4 – Economia de energia elétrica com controle automático de dimmerização (fonte – The Construction Specifier, Agosto 2005)

O sistema da Figura 3.4 apresenta o gráfico da porcentagem de iluminação pela porcentagem de potência consumida nas 12 horas de um dia quando há o controle automático da iluminação com respeito à iluminação natural de uma sala. Este é o sistema mais econômico dos três apresentados. Nesta configuração a economia de energia elétrica chega a 60%.

É intuitivo verificar que o uso de dimmerização automática com sensores de presença venha a ser um sistema mais econômico que o último apresentado. Na configuração usando ambos os sistemas, a economia gerada pode chegar a 70% no consumo de energia elétrica.

3.2 – PROCEL

O PROCEL – Programa nacional de conservação de energia elétrica – é um programa do governo federal que visa promover a racionalização do consumo de energia elétrica para reduzir custos no setor elétrico e também acabar com o desperdício da energia. Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e sob controle da Eletrobrás, O PROCEL age por meio de metas como:

- Redução nas perdas técnicas nas concessionárias;

- Racionalização do uso da energia elétrica;
- Aumento da eficiência energética em eletrodomésticos.

Tentando assim combater o desperdício tanto do lado da concessionária como do lado do consumidor.

Com o planejamento do PROCEL em andamento, estima-se uma redução no consumo de energia no cenário brasileiro de até 130 TWh anualmente.

Com uma área de atuação bastante ampla, o PROCEL também busca educar e conscientizar o cidadão para atitudes anti-desperdício. Desde a educação fundamental, com a parceria do Ministério da Educação, até o chão de fábrica, fazendo parcerias com diversas empresas e universidades, o PROCEL cria programas e material didático para todas as idades, classes e consumidores, quer sejam pessoas ou empresas.

CAPÍTULO 4 – SENSORES

O objetivo principal do sensor de luminosidade, e dos outros sensores a serem montados é a detecção de informações sobre o ambiente que está sendo posto em análise. Dessa forma devemos estar bastante familiarizados com as grandezas físicas a serem medidas. Devemos saber por exemplo qual faixa de valores de luminosidade o sensor de luminosidade será capaz de detectar.

Conhecer bem o ambiente a ser estudado e sua faixa de variação nos dá uma maior segurança no momento da escolha dos dispositivos eletrônicos que irão compor o sensor bem como em que tipo de ambiente e situação ele poderá ser usado.

De uma forma bastante específica os sensores se assemelham. Todos os sensores montados em nosso trabalho devem possuir em sua parte final um oscilador controlado por tensão, para que toda a informação adquirida e processada tenha como produto final um sinal cuja frequência seja a grandeza de medida variável, referente ao respectivo valor de entrada medido no ambiente. Esse tipo grandeza associado à saída se deve ao tipo de multiplexação que será realizado para a aquisição dos sinais através da placa de som.

Em nosso projeto os circuitos dos sensores possuem uma parte igual aos demais referente ao VCO. Podemos dizer então que os sensores são incrementados de uma parte especial, apenas para que a saída seja adequada a um certo parâmetro desejado.

4.1 – COMPONENTES DOS SENSORES

Como sabemos a maioria das placas de som dos computadores que existem no mercado possuem entradas de microfones que trabalham na faixa de 20 Hz a 20 kHz, faixa que compreende toda a faixa de som audível.

Essa limitação da banda nos permite desconsiderar harmônicos de frequências superiores a 20 kHz que possam interferir na clareza de nossas medições, tais frequências são cortadas na entrada de microfones da placa de som, que age como um filtro passa-baixas. Essa faixa

de frequência relativamente pequena poderia trazer uma desvantagem caso fôssemos trabalhar com muitos sinais. Ao delimitarmos as bandas de frequência correspondentes a cada sensor, teríamos uma banda de guarda entre um sinal e outro muito pequena. Entretanto, como vamos trabalhar com apenas quatro sensores diferentes, a banda de guarda não será um problema, visto que será de aproximadamente de 1kHz se utilizarmos uma faixa de 4kHz para cada sinal multiplexado.

Independentemente de qual sensor irá ocupar qual banda, o circuito do VCO terá apenas quatro variações, uma para cada faixa. Isso significa uma independência no processo de montagem de cada uma das partes.

Antes de definirmos o circuito que será implementado devemos estabelecer alguns limites de operação e fazer uma visualização do circuito como um todo, a figura abaixo mostra uma versão simplificada.

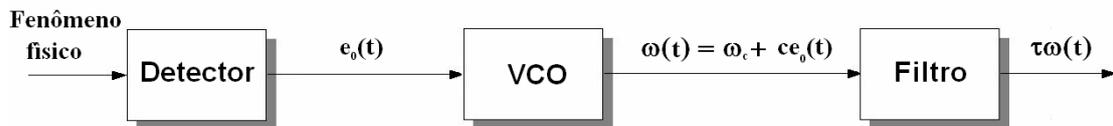


Figura 4.1 – Componentes do sensor

Analisando a figura podemos ver três etapas diferentes por onde passa a informação captada do ambiente. A primeira etapa é a detecção do fenômeno físico e a subsequente transformação desse fenômeno em uma grandeza elétrica mensurável, mas não suficientemente adequada como, por exemplo, uma corrente. O segundo bloco da figura representa a etapa em que a grandeza elétrica na saída do detector será analisada e representada de uma forma mais adequada, que é a de um sinal de amplitude constante e frequência variável. Finalmente, a terceira etapa do processo sensor é realizada por um filtro, que irá moldar o sinal a um formato que seja adequado à sua captação pela placa de som.

4.1.1 – Detectores

Os quatro detectores usados no experimento foram: três de iluminação usando o BPW34 e um de presença usando o OPB740. Para os detectores de iluminação foram estudados dois tipos de fotodetectores, o LDR T8 e o fotodiodo PIN BPW34.

O LDR T8 foi descartado devido à sua variação não linear de resistência conforme a iluminância. Em seu lugar foi usado um fotodiodo BPW34 por apresentar variação linear na faixa entre 10 a 1500 lux. O LDR seria colocado na entrada do sensor como um circuito divisor de tensão com uma resistência de 10 k Ω em série e 10 V de alimentação. A tensão seria captada sobre a resistência de 10 k Ω . O gráfico abaixo apresenta a tensão sobre o resistor pela variação da iluminância na faixa entre 96 a 1570 lux.

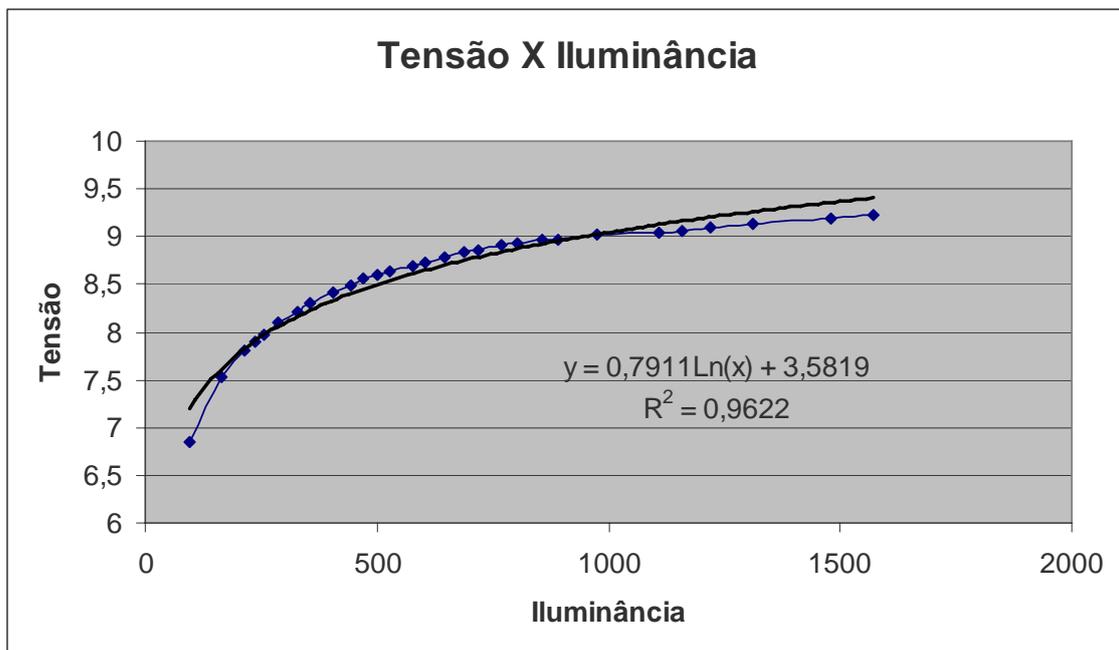


Figura 4.2 – Gráfico de tensão vs. iluminância do LDR

Como pode ser visto no gráfico foi traçada uma curva de tendência logarítmica para aproximar o comportamento real da curva formada com 96% de exatidão.

O BPW34 foi escolhido por ter sua variação de corrente reversa com o nível de intensidade luminosa linear. O circuito de entrada do sensor foi formado com o fotodiodo reversamente

polarizado com 10 V em série com uma resistência de 740 k Ω para resultar na tensão de entrada do VCO. O gráfico abaixo mostra a variação de tensão sobre o resistor de 740 k Ω conforme o nível de iluminância varia na faixa entre 13 a 1733 lux.

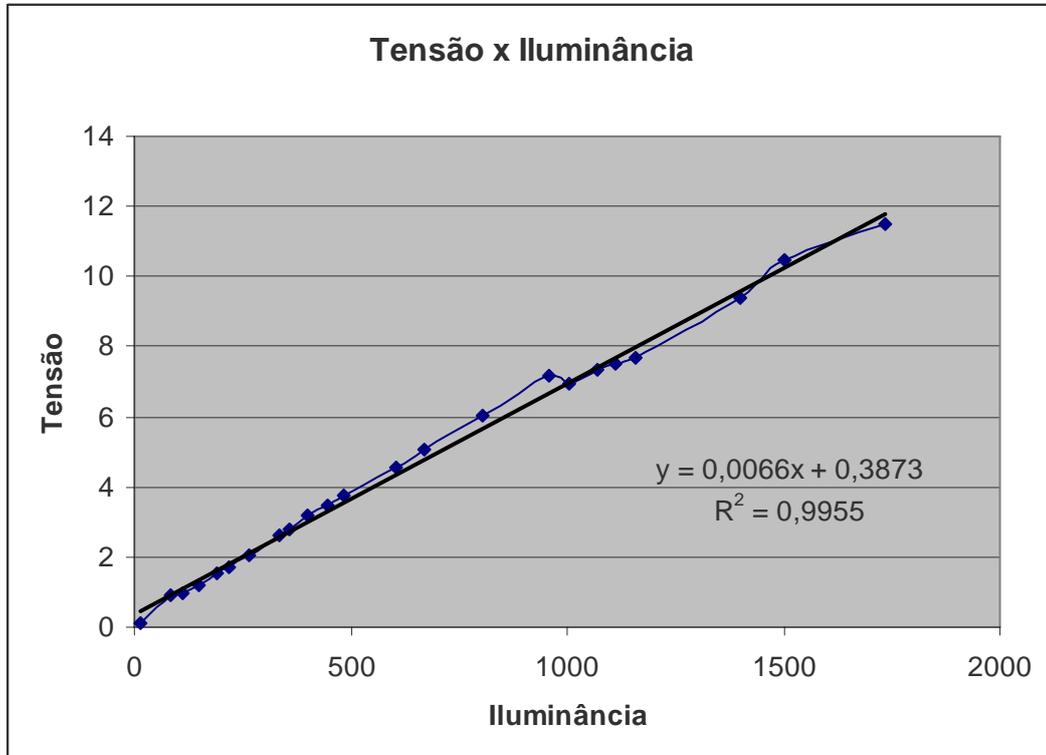


Figura 4.3 – Gráfico de tensão vs. Iluminância do BPW34

Como pode ser notado na figura, uma reta de tendência foi traçada para aproximar os valores da curva. Esta aproximação é 99,5% acurada.

O OPB740 é um detector de reflexão que contém um diodo de emissão infravermelho montado lado a lado com um fototransistor NPN de silício, sendo que os dois dispositivos estão num mesmo eixo convergente. O OPB740 é montado alimentando-se o diodo com 1,5 V e o coletor do fototransistor com 10 V, uma resistência de 740 k Ω é colocado na saída do emissor e conectado no terra do circuito. A partir daí é estabelecida uma tensão sobre o resistor que aumenta conforme um objeto se aproxime do conjunto.

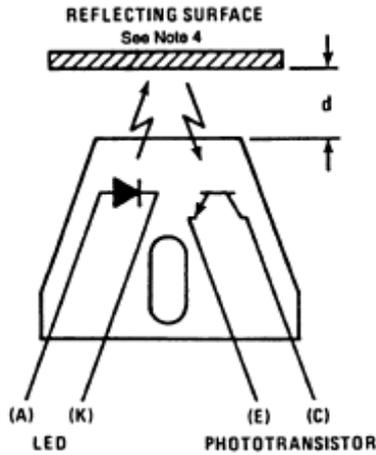


Figura 4.4 – Esquema de montagem de um OPB740 (fonte – *Data sheet* do OPB740 da Optek)

O papel do OPB740 é apenas o de variar sua tensão na presença de pessoas. Quando um recinto estiver vazio, esta tensão permanece constante. Para a aquisição deste sinal, não importa o quanto ele varie com a proximidade de objetos, e sim que ele apenas varie para indicar a presença de algum indivíduo; por isso não foi traçado nenhum gráfico ou tabela para este dispositivo.

4.1.2 – VCOs

O funcionamento de um VCO já foi elucidado nos capítulos anteriores. Resumidamente, ele deve ter em sua entrada uma tensão de controle, e em sua saída uma frequência que varia, linearmente e dentro de uma faixa, com essa tensão. Essa tensão será variada de 0 V até aproximadamente 10 V. O motivo dessa escolha é a disponibilidade nas saídas das fontes de alimentação da maioria dos computadores esse valor de tensão. A tensão máxima será de aproximadamente 10 V pois este será o valor de alimentação, e a tensão de controle nunca pode ultrapassar a tensão de alimentação. Ficamos então com uma faixa de segurança de alguns milivolts em nossos experimentos.

Sabendo que a banda de frequência total disponível para uso é de 20 kHz, podemos definir as faixas de frequência designadas para cada um dos VCOs dos sensores da seguinte forma:

- VCO 1: 1kHz a 5 kHz;
- VCO 2: 6kHz a 10 kHz;
- VCO 3: 10kHz a 15 kHz;
- VCO 4: 16kHz a 20 kHz;

4.1.2.1 – VCO 1

Sabendo a faixa de frequência que o VCO 1 deve ocupar podemos fazer a determinação dos valores dos capacitores e resistores que irão compor o circuito. Com o auxílio dos gráficos nas figuras e suas respectivas explicações presentes no capítulo introdutório referente ao VCO os parâmetros iniciais e os valores dos componentes são:

- frequência média: 3 kHz
- frequência mínima: 1 kHz
- frequência máxima: 5 kHz
- Capacitor C1: 1 nF
- Resistor R2: 2,2 MΩ
- Resistor R1: 1 MΩ

A montagem dos componentes é bastante simples, como designada na figura a seguir.

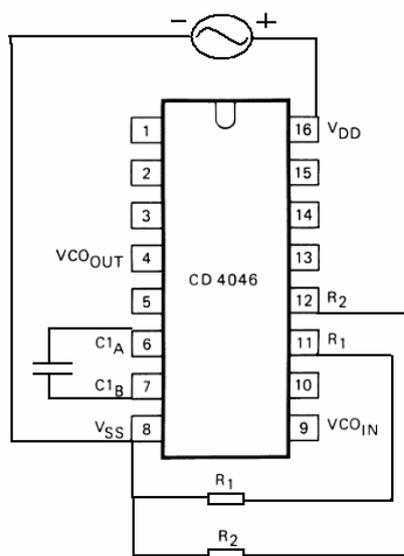


Figura 4.5 – Circuito integrado do PLL CD 4046 com a posição dos componentes

4.1.2.1 – VCO 2

A montagem deste VCO é idêntica à do primeiro, assim como será a dos demais. A diferença fica apenas no valor dos resistores e do capacitor. Assim como no primeiro VCO montado vamos definir os componentes do circuito.

Frequência média: 8 kHz

Frequência mínima: 6 kHz

Frequência máxima: 10 kHz

Capacitor C1: 1 nF

Resistor R2: 560 k Ω

Resistor R1: 680 k Ω

4.1.2.1 – VCO 3

Os parâmetros de partida e os valores dos componentes usado na montagem do circuito do VCO 3 estão explicitados a seguir.

Frequência média: 13 kHz

Frequência mínima: 11 kHz

Frequência máxima: 15 kHz

Capacitor C1: 1 nF

Resistor R2: 270 k Ω

Resistor R1: 820 k Ω

4.1.2.1 – VCO 4

Os parâmetros de partida e os valores dos componentes usado na montagem do circuito do VCO 3 estão explicitados a seguir.

Frequência média: 18 kHz

Frequência mínima: 16 kHz

Frequência máxima: 20 kHz

Capacitor C1: 1 nF

Resistor R2: 180 k Ω

Resistor R1: 470 k Ω

4.1.3 – Filtros

O sinal de saída do VCO tem uma forma de onda quadrada com amplitude de 10 V. É interessante que a informação transportada por essa onda chegue ao seu destino da melhor maneira possível. Em nossos estudos, a informação primordial de cada sinal é o valor da frequência central, que está associado a um valor de luminosidade, então podemos modificar a forma da onda para senoidal bem como a amplitude desse sinal para um valor menor que terá um ruído associado mais atenuado.

A forma mais adequada de envio da onda seria com amplitude máxima de 1 Volt, e para os sinais de frequência mais baixa, nas faixas de 1 kHz a 5 kHz e 6 kHz a 10 kHz, com forma de onda senoidal. Isso evitaria que os harmônicos superiores interferissem na captação das faixas de frequência seguintes. Tal fato não é um problema para os sinais de faixas de frequências mais altas, visto que para o menor valor de frequência de 11 kHz, o primeiro harmônico indesejável estará na frequência de 33 kHz, frequência que é cortada na entrada de microfones da placa de som.

Os filtros passa-baixas de Chebyshev de segunda ordem. A resposta apresentada por esse filtro é de corte rápido, atendendo à segunda exigência mencionada no parágrafo acima. Esse tipo de filtro tem seu modelo de circuito representado na figura abaixo:

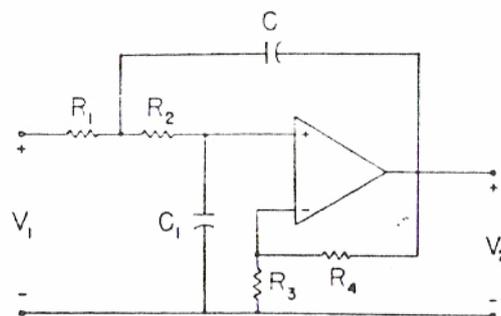


Figura 4.6 – Circuito do filtro passa-baixas de segunda ordem de Chebyshev

Vamos então fazer a determinação dos valores dos componentes dos filtros com o auxílio da Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores dos elementos do circuito do filtro de segunda ordem de Chebychev para o parâmetro K igual a 1 e as resistências em quiloohms (fonte – Rapid Practical Designs of Active Filters, David E. Johnson)

Valores dos elementos do circuito						
Ganho	1	2	4	6	8	10
R_1	0.912	0.671	0.474	0.349	0.293	0.259
R_2	2.541	1.139	0.807	1.094	1.303	1.476
R_3	Open	3.621	1.707	1.732	1.824	1.928
R_4	0	3.621	5.122	8.660	12.771	17.351
C_1	0.33C	C	2C	2C	2C	2C

O parâmetro K é definido pela seguinte fórmula:

$$K = \frac{100}{f_c \times C'} \quad (4.1)$$

Onde C' é o valor do C da tabela em microfarads e f_c é a frequência de corte do filtro.

Façamos a determinação dos componentes do filtro com frequência de corte de 5 kHz. Para um valor de capacitância de 22 nF temos que o parâmetro K é igual a 0,9090. Levando esse valor à tabela obtemos os seguintes componentes com valores aproximados :

Capacitor C1: 22 nF

Resistor R1: 610 Ω

Resistor R2: 1 k Ω

Resistor R3: 3.3 k Ω

Resistor R4: 3.3 k Ω

Os valores dos elementos do filtro de frequência de corte de 10 kHz são encontrados de maneira similar. O parâmetro K para este circuito fica igual a 10 quando escolhemos uma capacitância de 1 nF. A partir da tabela definimos os valores aproximados dos componentes a seguir:

Capacitor C1: 1 nF

Resistor R1: 6.7 k Ω

Resistor R2: 11.4 k Ω

Resistor R3: 36.2 k Ω

Resistor R4: 36.2 k Ω

As amplitudes dos sinais podem ser atenuadas com o uso de amplificadores operacionais com a configuração em realimentação negativa. Todos os sinais terão sua amplitude atenuada. Os sinais das duas faixas de frequência mais baixas terão seu sinal atenuado e 40 vezes, dado que eles ao passarem pelo filtro de Chebychev têm um ganho de 2, sua amplitude final ficará em torno de 500 mV. Os sinais vindos diretamente dos VCOs das duas faixas de frequência mais elevadas terão sua amplitude atenuada em 20, suas amplitudes também ficarão em torno de 500 mV.

Os circuitos atenuadores montados com os amplificadores operacionais devem ter um ganho de -0,025 para os dois sinais de frequência mais baixa e -0,05 para os sinais de frequência mais elevada. Os dois resistores que irão compor, juntamente com o amplificador operacional, cada um dos circuitos são escolhidos aleatoriamente mas tendo sua proporção sendo 1:40 para as frequências mais baixas e 1:20 para as frequências mais altas. Os valores de R2 escolhidos são de 100 Ω para os dois circuitos e os valores de R1 são 2 k Ω para o circuito das frequências mais altas e 4k Ω para as frequências mais baixas.

4.2 – CAPTAÇÃO DE SINAIS

Os fenômenos físicos do ambiente analisado, após terem sido convertidos em sinais cujos parâmetros são totalmente conhecidos, devem ser captados através da entrada de microfone da placa de som de um computador. Esse processo envolve o funcionamento de quantos circuitos sensores estiverem disponíveis. Visto que o envio do sinal está restrito à sua respectiva banda, a análise do sinal completo também pode ser desmembrado através da multiplexação.

4.2.1 – Captação via entrada de microfone

O primeiro passo para a captação dos sinais vindos dos filtros é a montagem e conexão dos sensores em paralelo. A entrada dos sinais em conjunto na entrada de microfone é feita via barramento. Esse conceito pode ser entendido através da figura abaixo.

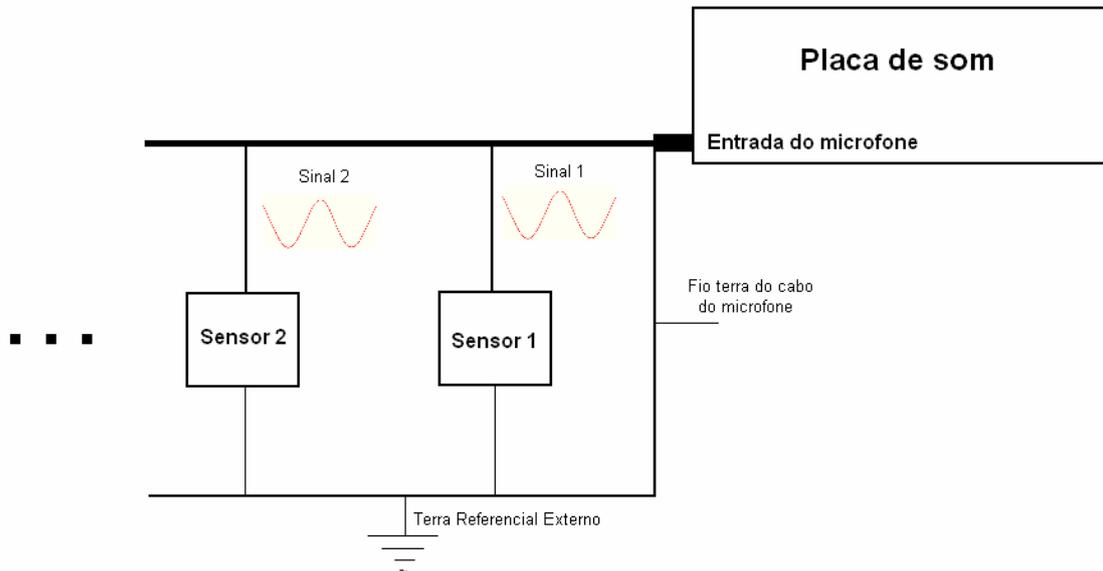


Figura 4.7 – Método de conexão dos sensores à entrada de microfone

Devemos tomar um cuidado especial com o referencial terra, para evitar correntes de retorno, vindas da entrada de microfone, que causam distorção no sinal capturado. Devemos adotar preferencialmente um referencial terra externo que pode ser o da fonte de alimentação do computador. Em nossos experimentos para tal referencial foi adotado o da fonte de alimentação dos circuitos montados em *protoboard*.

Estando todos os sensores conectados e em funcionamento, procedemos a ligar o computador e iniciar o software de captação, no nosso caso o MATLAB. Feito isso podemos iniciar a sessão de aquisição, etapa já mencionada e elucidada nos capítulos introdutórios.

4.2.1.1 – Realização da sessão de aquisição

Todos os passos necessários à aquisição de dados já foram definidos anteriormente. Vamos agora explicar as minúcias de cada passo da aquisição, como a estipulação de parâmetros

e determinação das frequências centrais dos sinais amostrados para cada faixa de frequência.

As etapas de preparação consistem em criar um objeto de entrada analógica, adição de canais ao objeto e configuração das propriedades.

As configurações das propriedades devem ser adequadas ao tipo de sinal que estamos querendo captar. Tais configurações são de taxa de amostragem e tempo de amostragem. A taxa de amostragem deve ser, de acordo com o teorema da amostragem, no mínimo duas vezes maior que a maior frequência de sinal amostrado para que possamos obter um sinal fiel. A frequência de maior valor que queremos captar é de 20 kHz, devemos então estipular uma taxa de amostragem no mínimo de 40000 amostras por segundo. Visto que o limite máximo de amostragem de uma placa de som comum através da entrada de microfone é de 44100 amostras por segundo, não teremos problemas com relação à fidelidade do sinal amostrado se utilizarmos a máxima taxa permitida.

O tempo definido para amostrarmos o sinal deve ser no mínimo igual ao período da onda de frequência mais baixa que é de 1 kHz, ou seja, um milésimo de segundo. Como o tempo gasto de processamento do sinal amostrado, já na memória, é proporcional à quantidade de amostras, devemos escolher o menor tempo possível. Um valor para o tempo de amostra que é razoável tanto para a amostragem quanto para o processamento é de meio segundo. Esse valor será o empregado em nossas aquisições. Temos então que as configurações são, taxa de amostragem de 44100 e um número de amostras igual a 22050, que equivale a meio segundo de amostras.

As etapas de aquisição referentes aos parâmetros configurados consistem em iniciar a aquisição, esperar 0,5 segundos até que a aquisição seja completa e extrair a informação para o ambiente de trabalho do MATLAB.

Após a aquisição da informação podemos prosseguir à análise do sinal amostrado. A informação que queremos extrair dos dados capturados dos sinais é a localização da frequência central de cada banda de frequência individual. Devemos então proceder à realização da transformada de Fourier do sinal completo.

A seguir devemos extrair do conjunto total de amostragem quatro novos grupos de amostras, cada um com uma faixa do espectro completo de cada um dos sensores. Por exemplo, o primeiro grupo contendo o espectro das amostras de 1 kHz a 5 kHz, o segundo contendo de 6 kHz a 10 kHz, e assim para as outras duas faixas. Para que não seja perdida nenhuma informação, as bandas de frequência ficarão com meia banda de guarda no limite de suas fronteiras. A primeira faixa, por exemplo, ficará então delimitada entre 0 e 5,5 kHz.

A última etapa do processo de análise do sinal é a determinação da frequência central de cada uma das bandas representadas para cada VCO. Isso pode ser facilmente conseguido através da determinação da amostra que tem o valor máximo. Por esse motivo foi necessário dividir as quatro bandas. Assim podemos encontrar quatro valores distintos, um para cada banda.



Figura 4.8 – Captação de sinais no Matlab



Figura 4.9 – Sensores e luxímetro

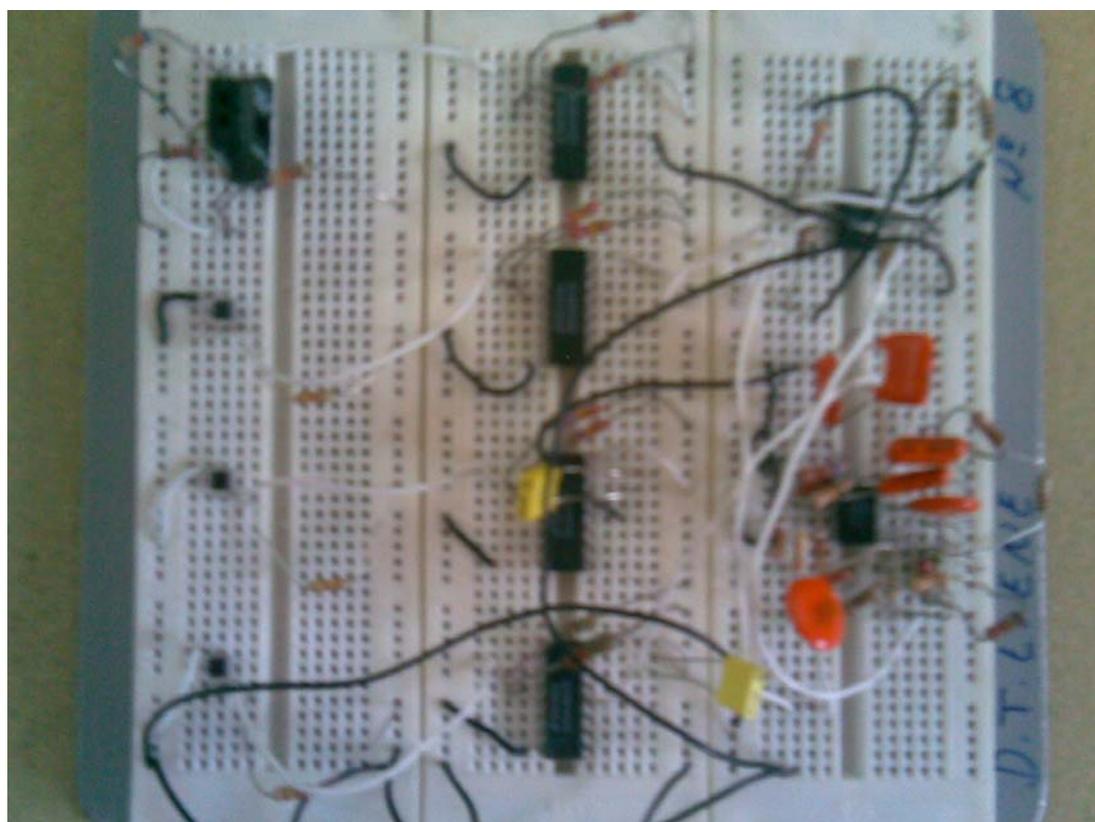


Figura 4.10 – montagem dos quatro sensores

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A análise de tudo que foi feito experimentalmente é dividida em três tópicos. Devemos analisar o funcionamento prático dos dispositivos de processamento do sinal até o estágio final em sua aquisição. Essa análise será feita através do traçado das curvas de funcionamento de cada um dos componentes. Estão fora dessa análise os dispositivos detectores, pois sua curva de funcionamento é independente de parâmetros que possamos escolher. As curvas já foram definidas no capítulo anterior. Prosseguimos então à análise do funcionamento dos VCOs e dos filtros, e à análise dos sinais amostrados.

5.1 – SENSORES

5.1.1– Funcionamento dos VCOs

Neste tópico são levantadas as curvas de funcionamento dos VCOs. As curvas foram levantadas com o VCO alimentado em 10 V. Portanto, a entrada VCO_{IN} teve sua tensão variada de 0 V a 10 V utilizando-se uma fonte variável externa. A frequência do sinal de saída foi medido com o auxílio de um osciloscópio.

5.1.1.1 – VCO 1

Com o circuito montado e devidamente alimentado a curva de funcionamento do primeiro VCO, referente a faixa de frequência de 1 kHz a 5 kHz foi traçada na Figura 5.1 .

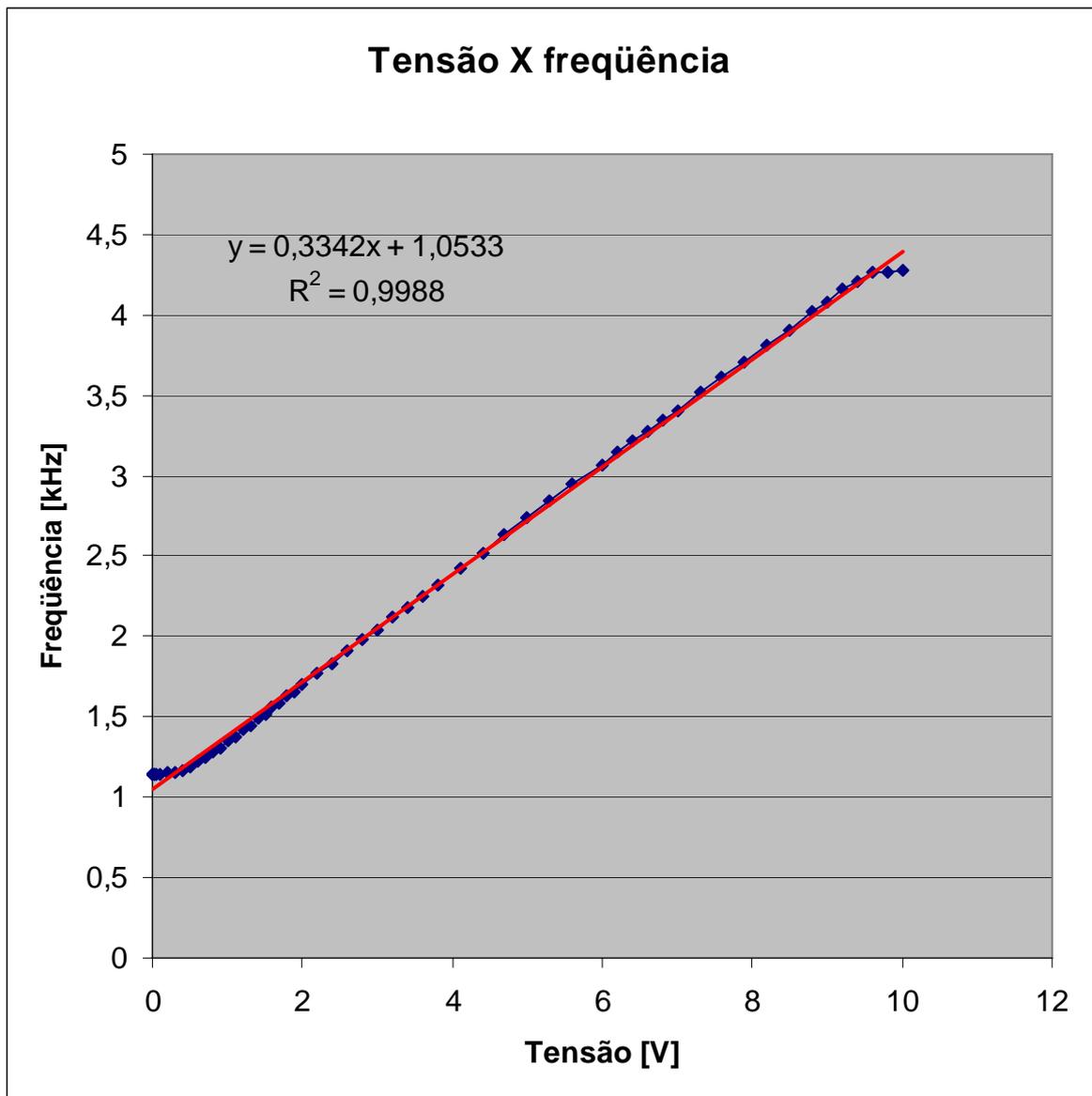


Figura 5.1 – Curva de funcionamento do VCO 1 Frequência versus Tensão

Analisando os pontos da figura foi determinado o coeficiente de correlação linear. A equação da curva é $y = 0,3342x + 1,0533$, isso nos dá um coeficiente de 0,9988. Foi feita uma análise nos trechos do gráfico na tentativa de encontrar uma faixa de operação em que o coeficiente fosse o maior, ou seja, mais próximo a 1. A figura a seguir representa o trecho de melhor qualidade, resultando em um coeficiente de 0,9999.

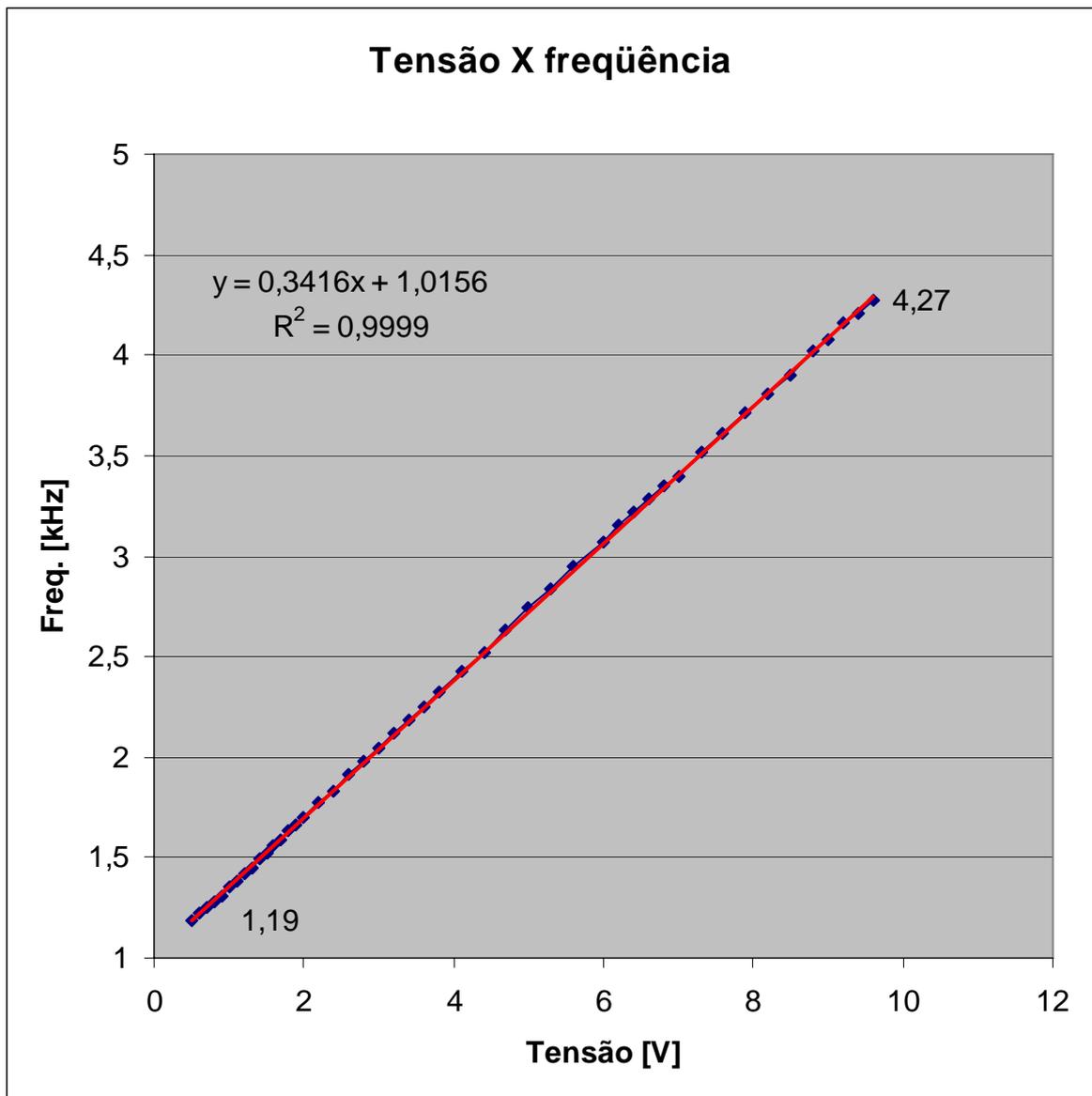


Figura 5.2 – Curva de funcionamento ótima do VCO 1 Frequência versus Tensão

A curva da figura acima nos mostra uma faixa de operação do dispositivo que é linear nas frequências entre 1,19 kHz e 4,27 kHz. A equação da reta que descreve este comportamento linear é:

$$y = 0,3416x + 1,0156 \quad (5.1)$$

5.1.1.2 – VCO 2

A curva de funcionamento do VCO 2 está mostrada na Figura 5.3. Seu coeficiente de correlação linear é de 0,9983, o que pode ser considerado muito bom ao analisarmos a

linearidade do funcionamento do VCO relacionado aos valores dos componentes escolhidos.

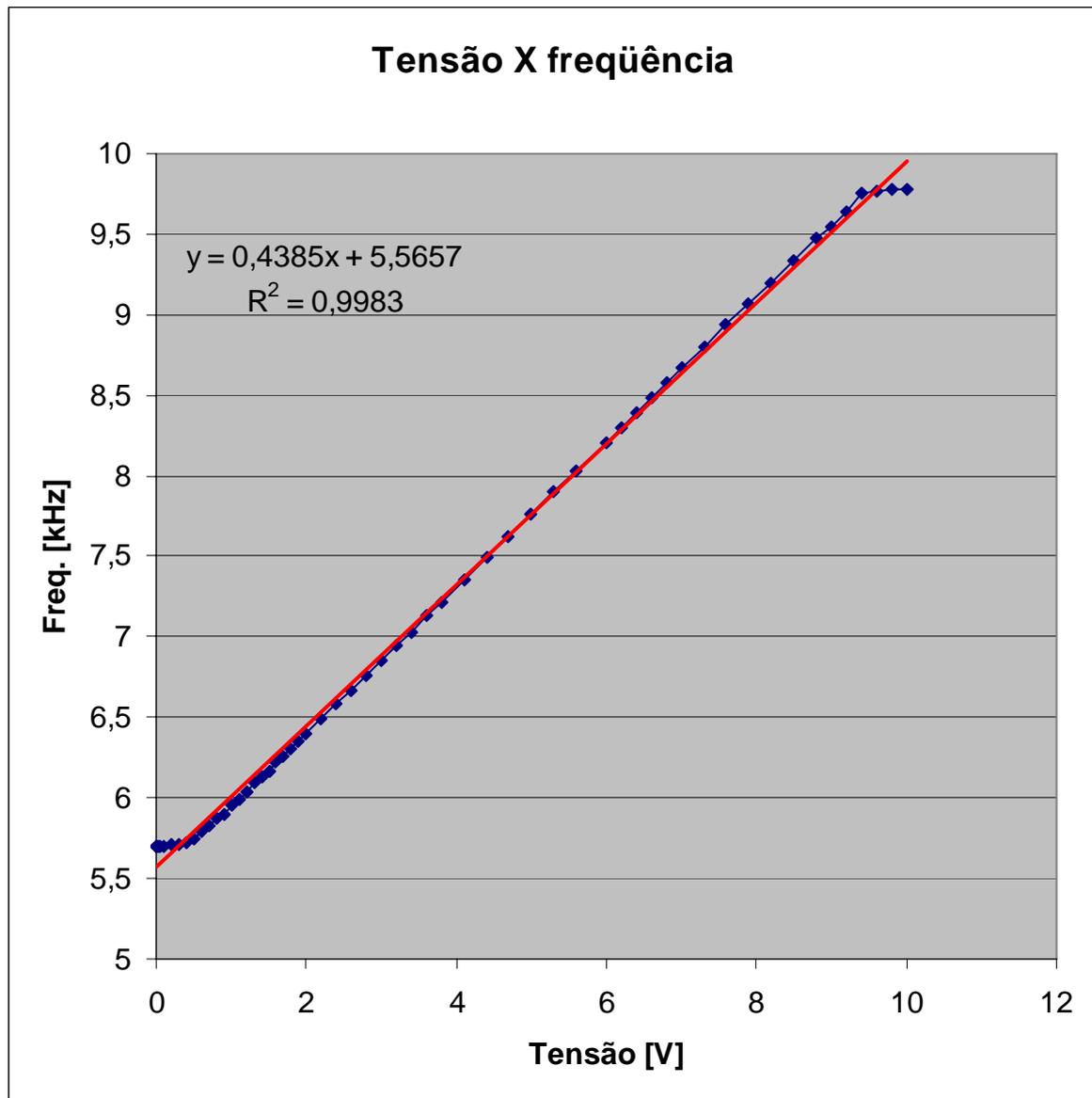


Figura 5.3 – Curva de funcionamento do VCO 2 Frequência versus Tensão

A curva ótima pode ser observada abaixo.

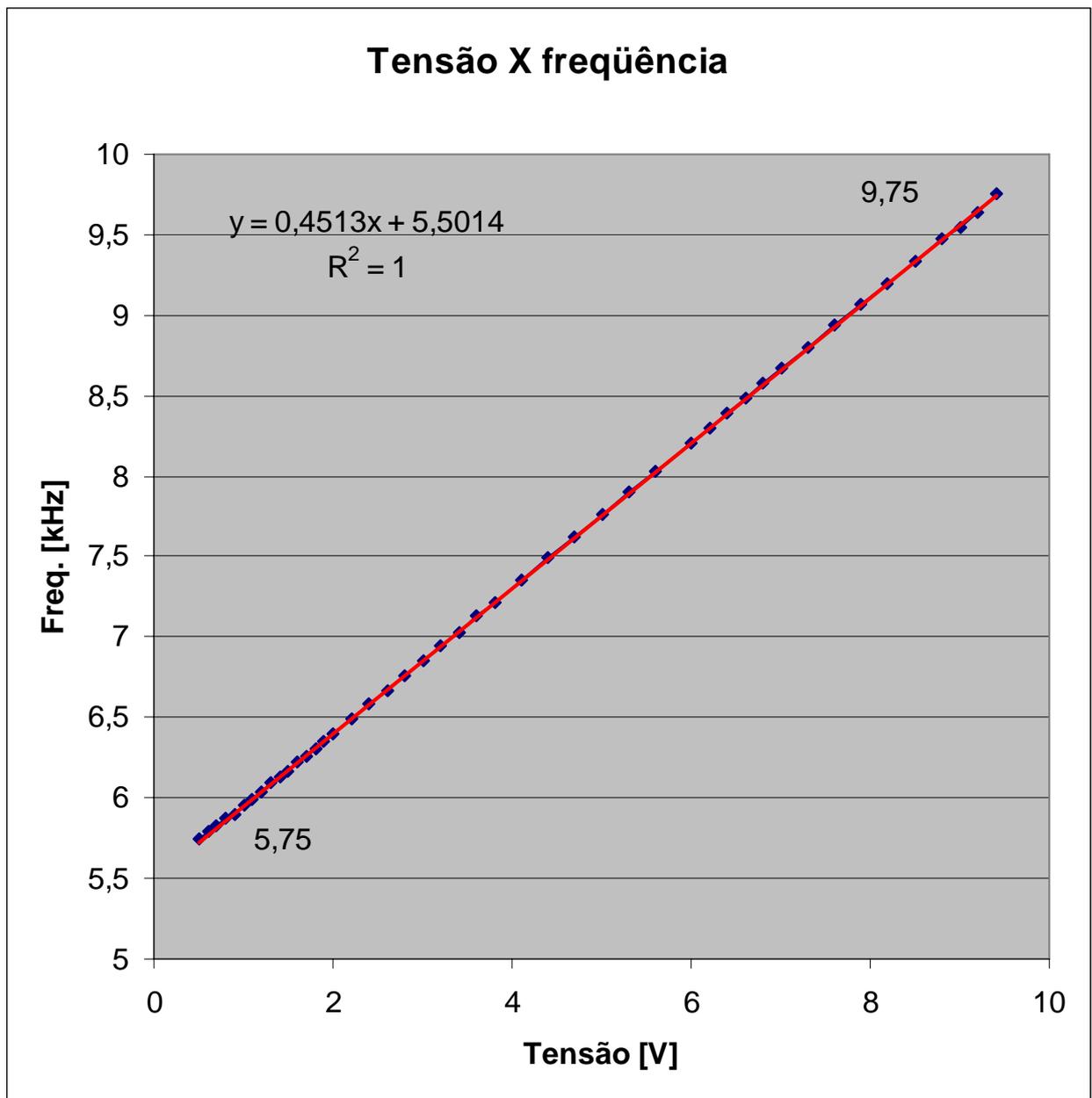


Figura 5.4 – Curva de funcionamento ótima do VCO 2 Frequência versus Tensão

A curva da figura acima nos mostra uma faixa de operação do dispositivo que é linear nas frequências entre 5,75 kHz a 9,75 kHz. A equação da reta que descreve este comportamento linear é:

$$y = 0,4513x + 5,5014 \quad (5.2)$$

5.1.1.3 – VCO 3

A figura a seguir mostra a curva de funcionamento do VCO 3 com um coeficiente de correlação linear de 0,9979.

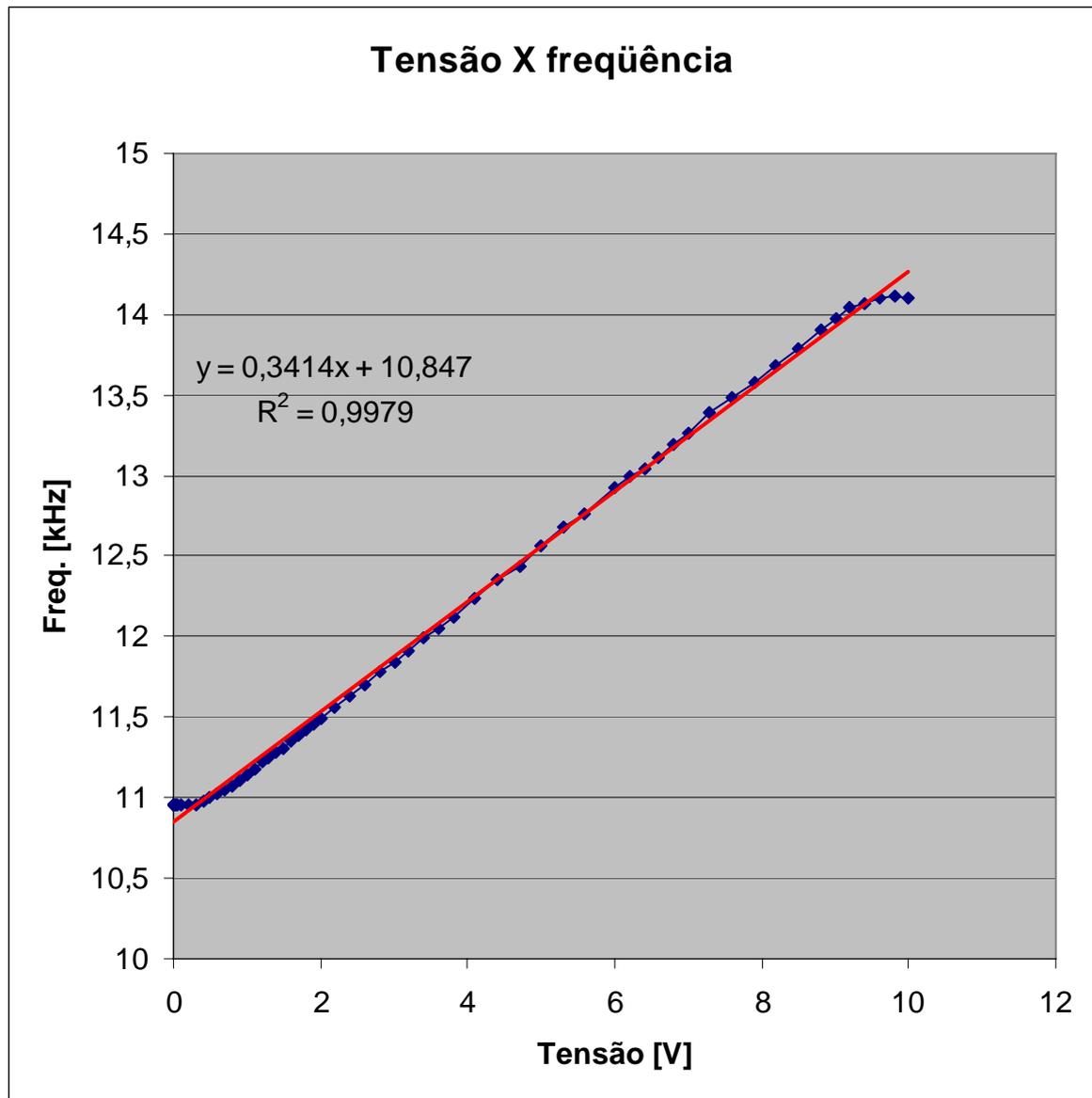


Figura 5.5 – Curva de funcionamento do VCO 3 Frequência versus Tensão

A curva ótima pode ser observada abaixo.

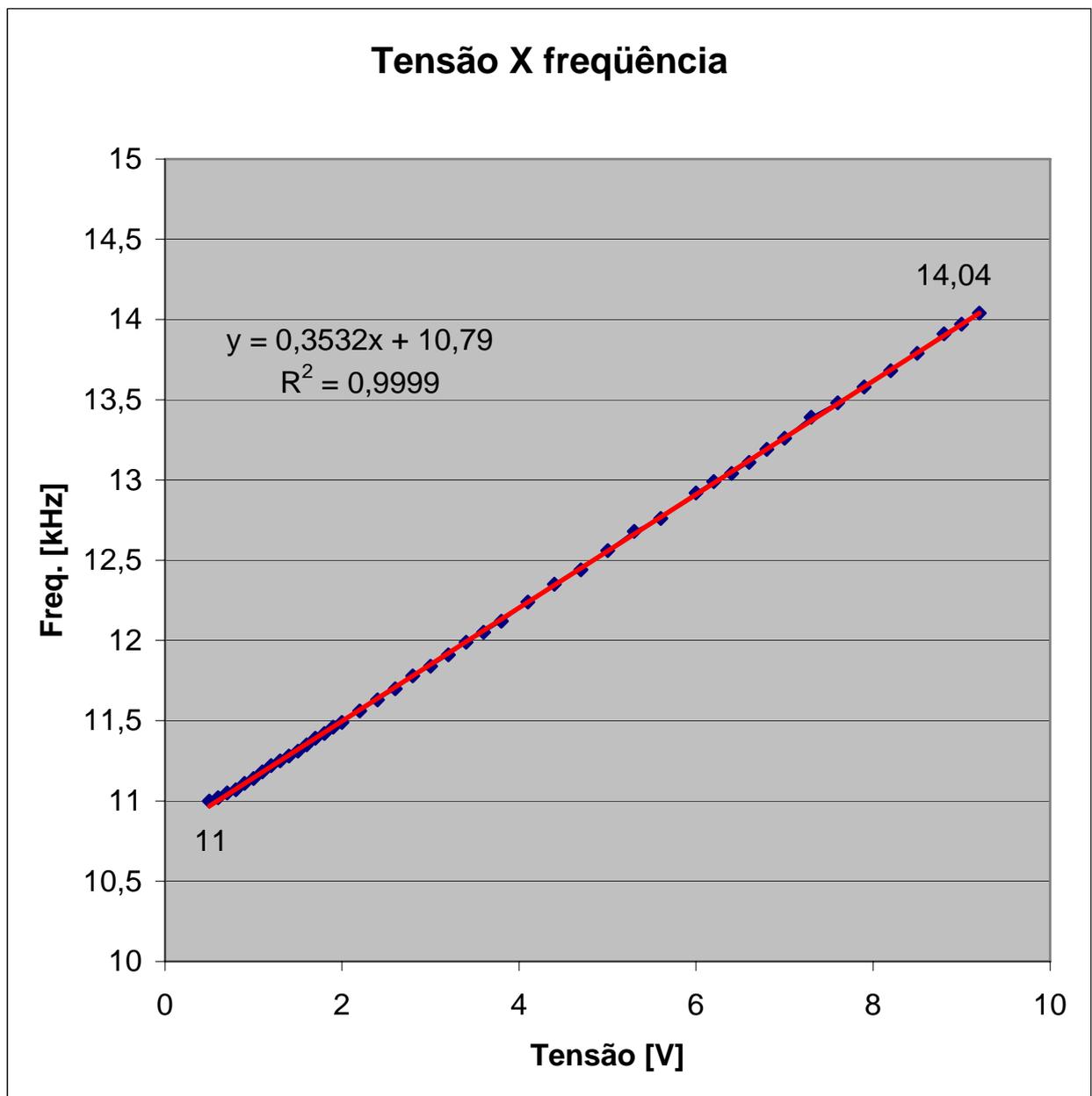


Figura 5.6 – Curva de funcionamento ótima do VCO 3 Frequência versus Tensão

A curva da figura acima nos mostra uma faixa de operação do dispositivo que é linear nas frequências entre 11 kHz a 14,04 kHz. A equação da reta que descreve este comportamento linear é:

$$y = 0,3532x + 10,79 \quad (5.3)$$

5.1.1.4 – VCO 4

A figura seguir mostra a curva de funcionamento do VCO 4 com um coeficiente de correlação linear de 0,9969.

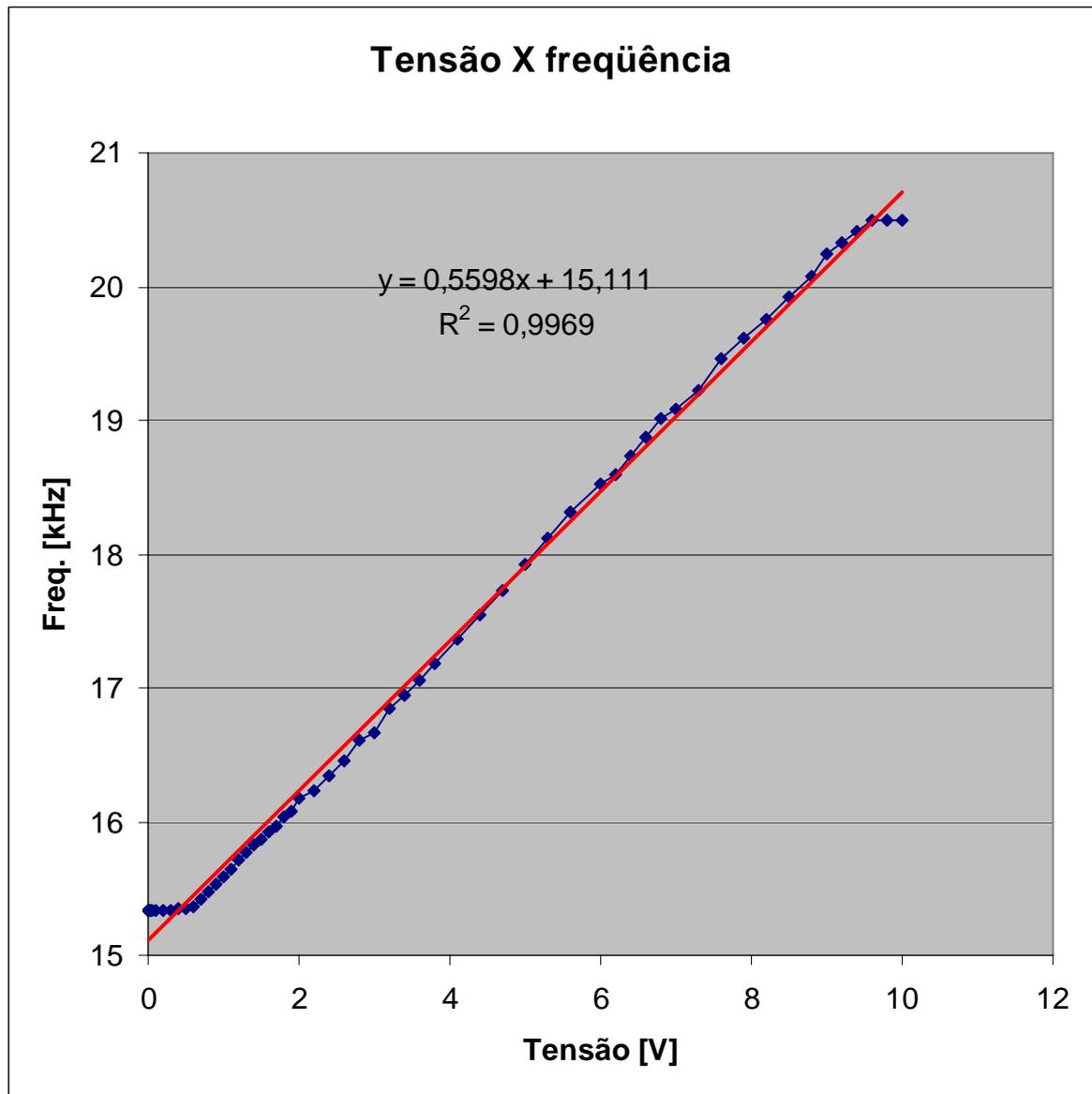


Figura 5.7 – Curva de funcionamento do VCO 4 Frequência versus Tensão

A curva ótima pode ser observada abaixo.

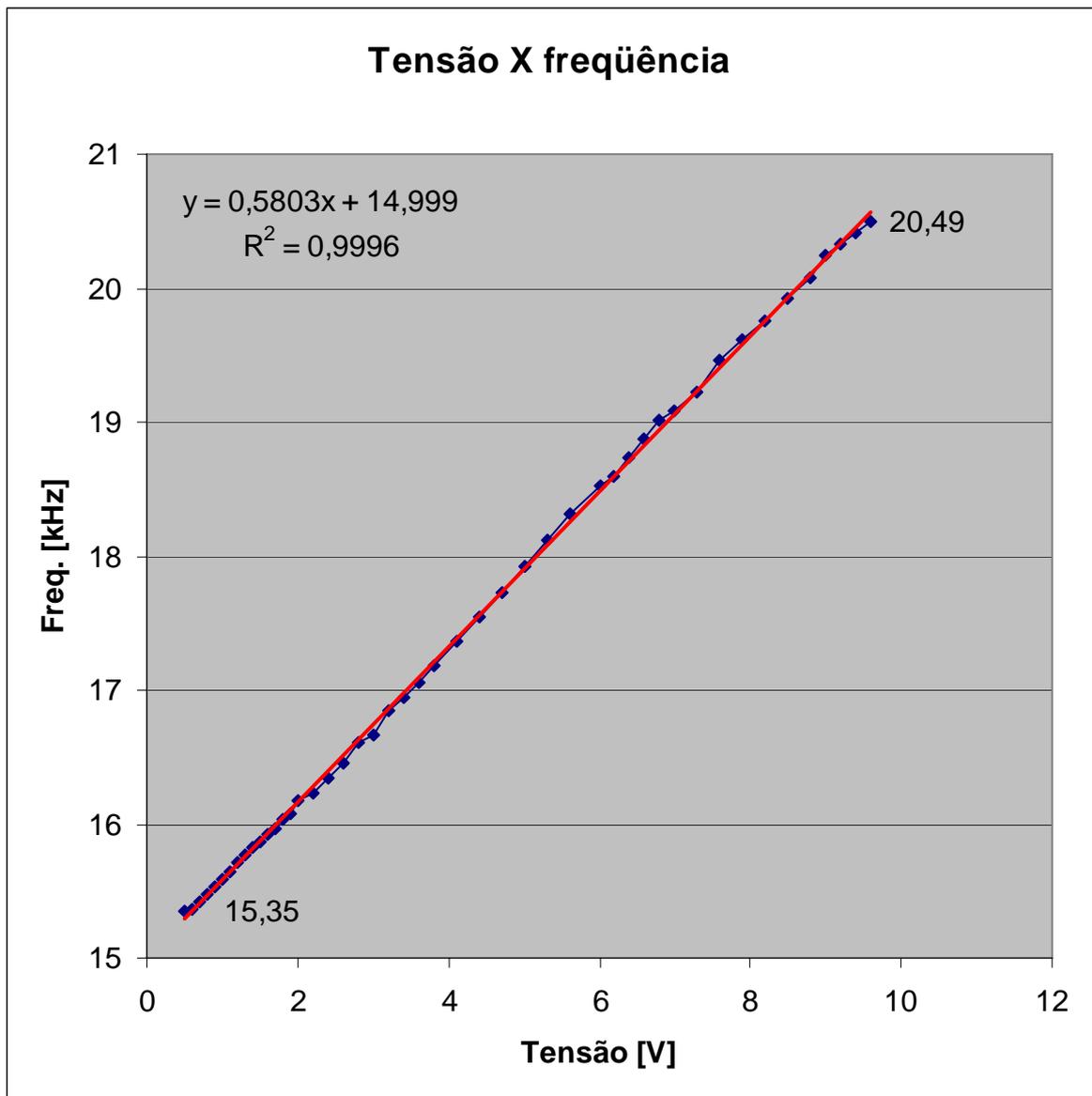


Figura 5.8 – Curva de funcionamento ótima do VCO 4 Frequência versus Tensão

A curva da figura acima nos mostra uma faixa de operação do dispositivo que é linear nas frequências entre 15,35 kHz a 20,49 kHz. A equação da reta que descreve este comportamento linear é:

$$y = 0,5803x + 14,999 \quad (5.4)$$

Para a banda de áudio, existe uma faixa de tensão de entrada do VCO, entre 6% a 93% de sua tensão de alimentação, em que ele apresenta comportamento linear independente da faixa de frequências que se queira adotar.

5.1.2 – Funcionamento dos filtros

A análise do funcionamento dos filtros foi realizada com o auxílio de um gerador de funções. Com o gerador foi possível fazer o traçado das curvas de funcionamento dos filtros, pudemos então fazer uma comparação entre o perfil das curvas reais traçadas e as curvas teóricas. O gráfico a seguir apresenta a curva de funcionamento do filtro com frequência de corte de 5 kHz. Sabendo que o ganho do filtro é de 2 e a tensão aplicada na entrada foi de 2 V temos:

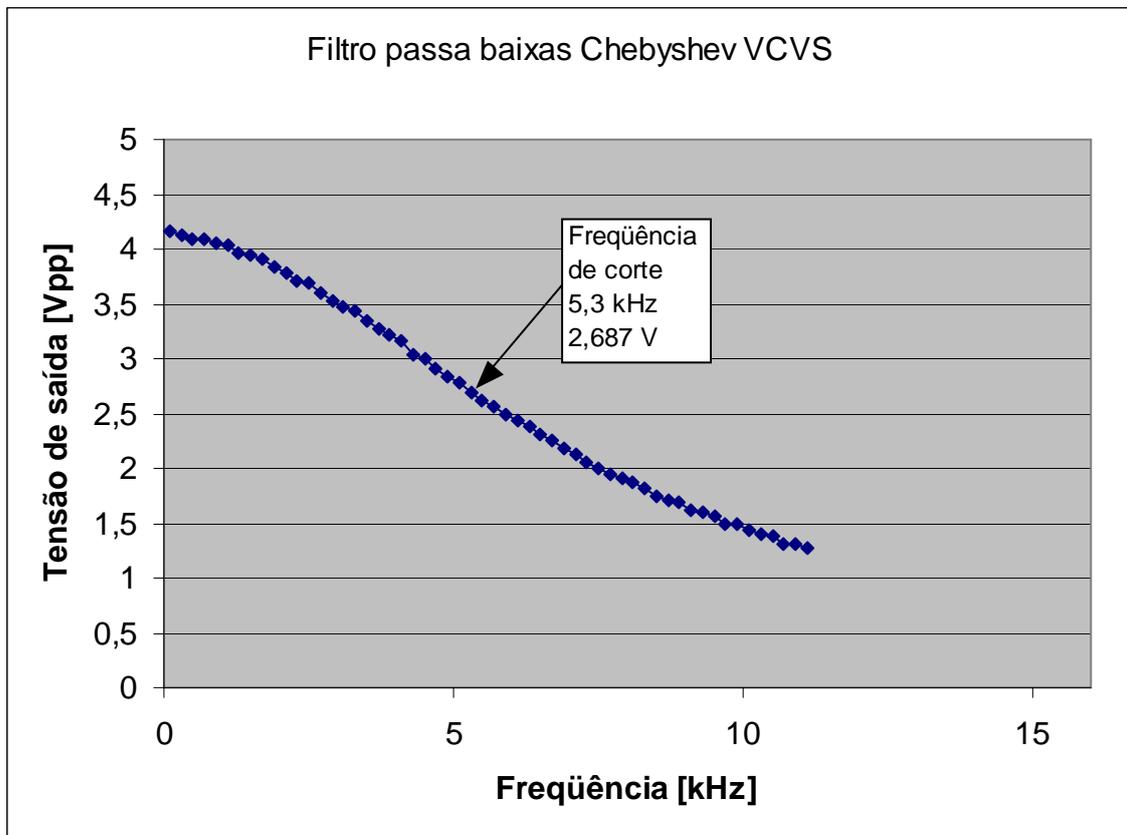


Figura 5.9 – Curva de funcionamento do filtro com frequência de corte em 5 kHz

A frequência de corte do filtro ocorre quando o valor de tensão máximo subtraída de 1,414V, daí:

$$4,155 - \sqrt{2} = 2,741V \quad (5.5)$$

Como o valor mais próximo medido foi 2,687V, sua frequência correspondente de 5,3 kHz é adotada como a frequência de corte desse filtro.

O mesmo procedimento foi executado para determinarmos o funcionamento do filtro com frequência de corte de 10 kHz. Temos a seguir os valores encontrados e a curva traçada.

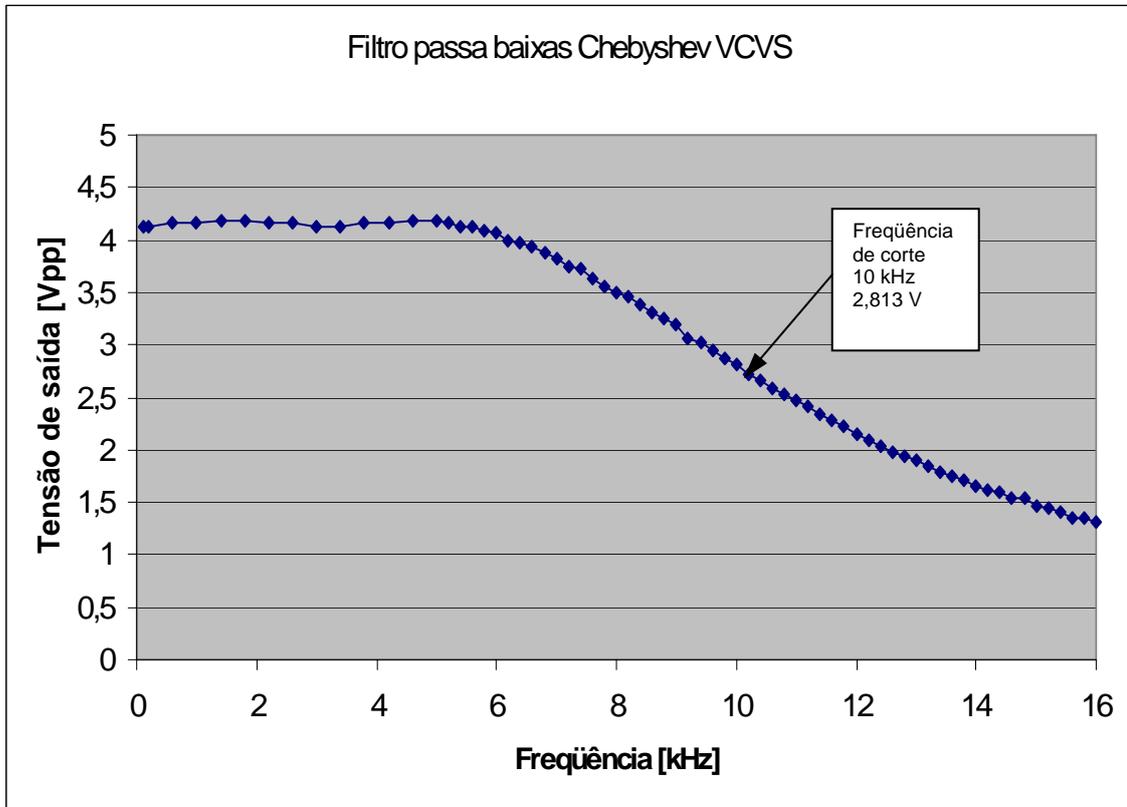


Figura 5.10 – Curva de funcionamento do filtro com frequência de corte em 10 kHz

A frequência de corte do filtro ocorre quando o valor de tensão máxima subtraída de 1,414V, daí:

$$4,25 - \sqrt{2} = 2,836V \quad (5.6)$$

Como o valor mais próximo medido foi 2,813V, sua frequência correspondente de 10 kHz é adotada como a frequência de corte desse filtro.

5.4 – SINAIS DIGITALIZADOS

O processo de aquisição de sinais requer a verificação de diversos tipos de situações. Devemos verificar se a largura da banda de guarda é grande o suficiente para a obtenção de um sinal viável, devemos verificar se a amplitude do sinal atenuado está de acordo com as especificações da entrada de microfone, e também devemos verificar se o ruído total gerado pelos circuitos é satisfatório

Para fazermos a verificação dos itens do parágrafo acima iniciaremos com a captação dos quatro sinais em conjunto. Todos os circuitos sensores estarão com as tensões de controle dos VCOs ligados em curto com as tensões de alimentação dos mesmos. Isso significa que o elemento detector não irá influenciar os resultados. Apenas iremos testar a conexão entre o sensor e a placa de som. O gráfico da figura a seguir é o resultado do plotamento da transformada de Fourier do sinal amostrado.

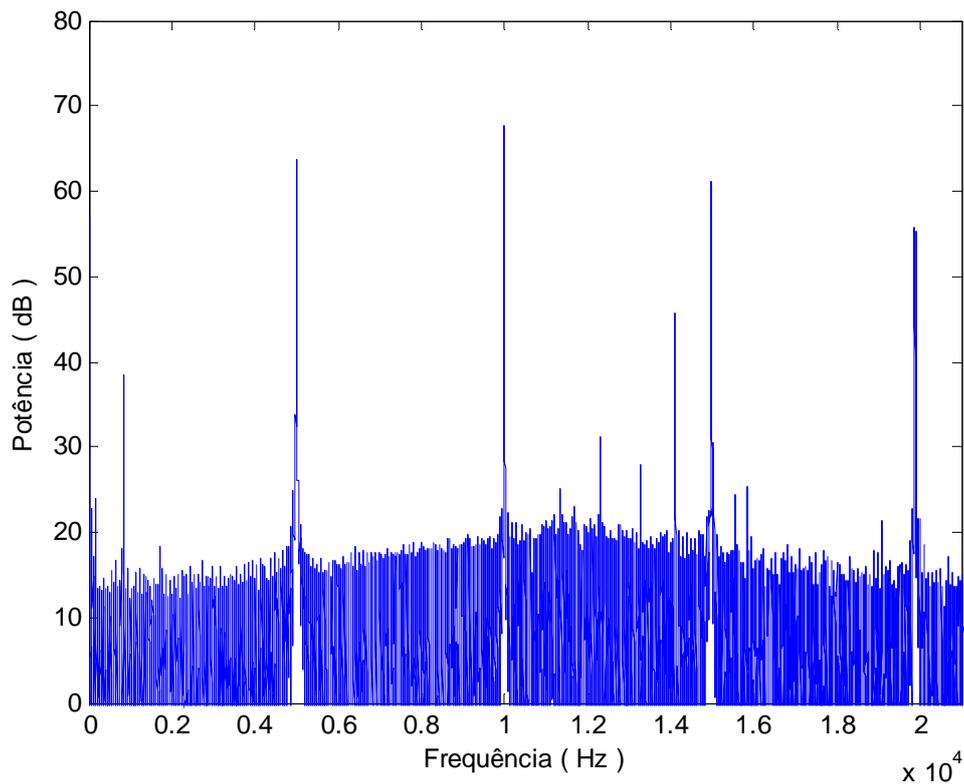


Figura 5.11 – Gráfico da aquisição com as frequências máximas das faixas dos sensores

Podemos ver pelo gráfico que as frequências centrais capturadas na figura são as únicas que possuem potência superior a 50 dB, isso nos dá uma margem de segurança suficientemente grande para obtermos seus valores exatos.

A segunda verificação é a de suficiência de banda de guarda permanecendo com as faixas de frequência de 1 kHz a 5 kHz e 11 kHz a 15 kHz com tensão de controle máxima e curto-circuitando as entradas de controle dos VCOs das demais faixa no terra, podemos analisar a banda de guarda estabelecida para a multiplexação na figura abaixo.

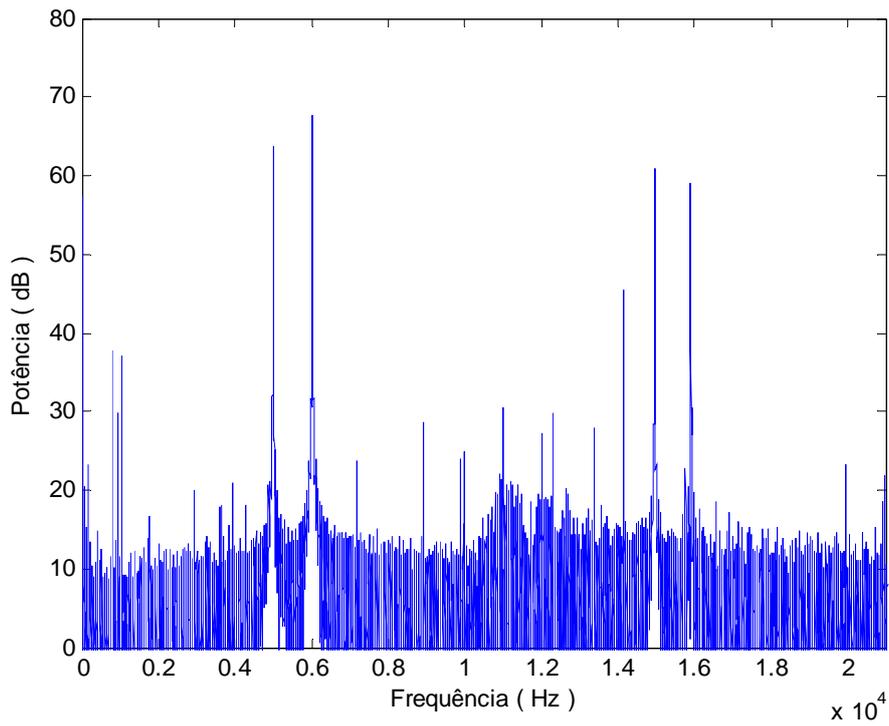


Figura 5.12 – Verificação das bandas de guarda

Podemos inverter as tensões de controle com relação à aquisição anterior para obtermos o seguinte resultado:

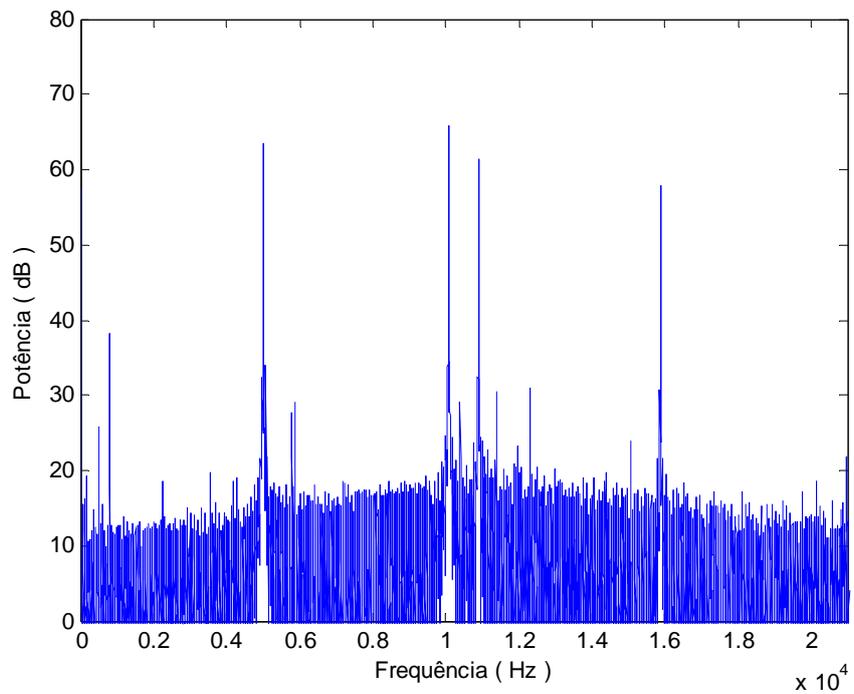
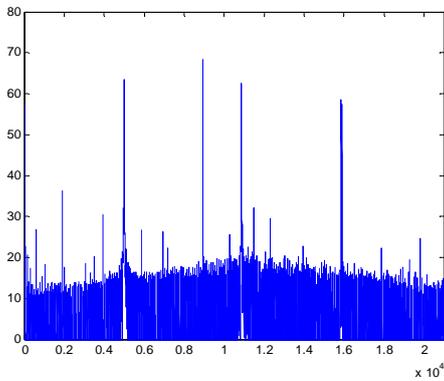


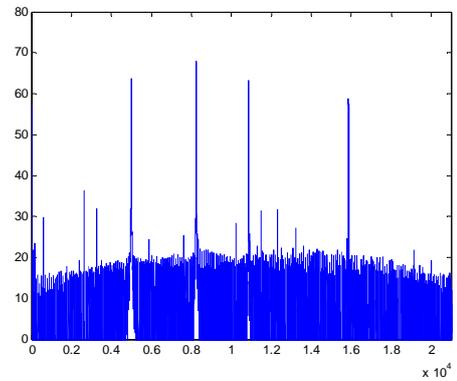
Figura 5.13 – Verificação das bandas de guarda

A partir dos valores de frequência dos sensores da última aquisição podemos fazer a variação da tensão de entrada do segundo VCO através de uma fonte de tensão externa para obtermos a seguinte sequencia de gráficos:

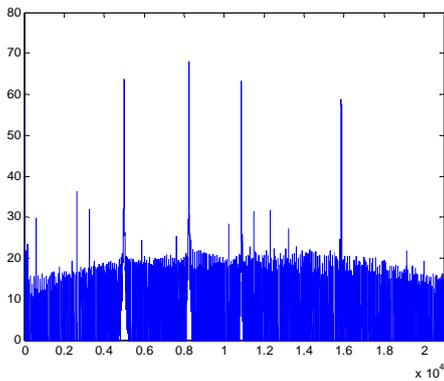
(1)



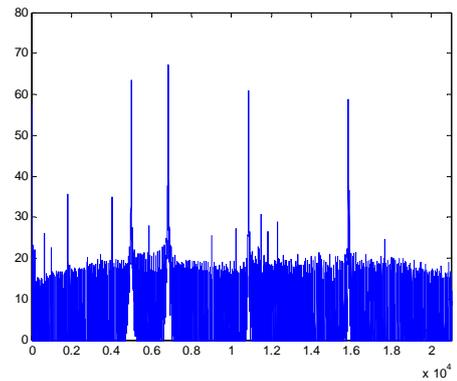
(2)



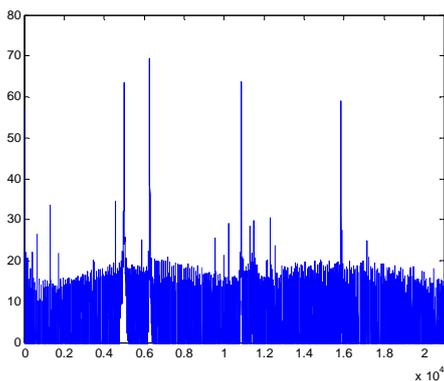
(3)



(4)



(5)



(6)

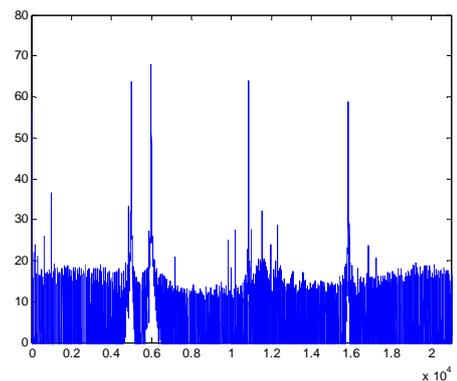
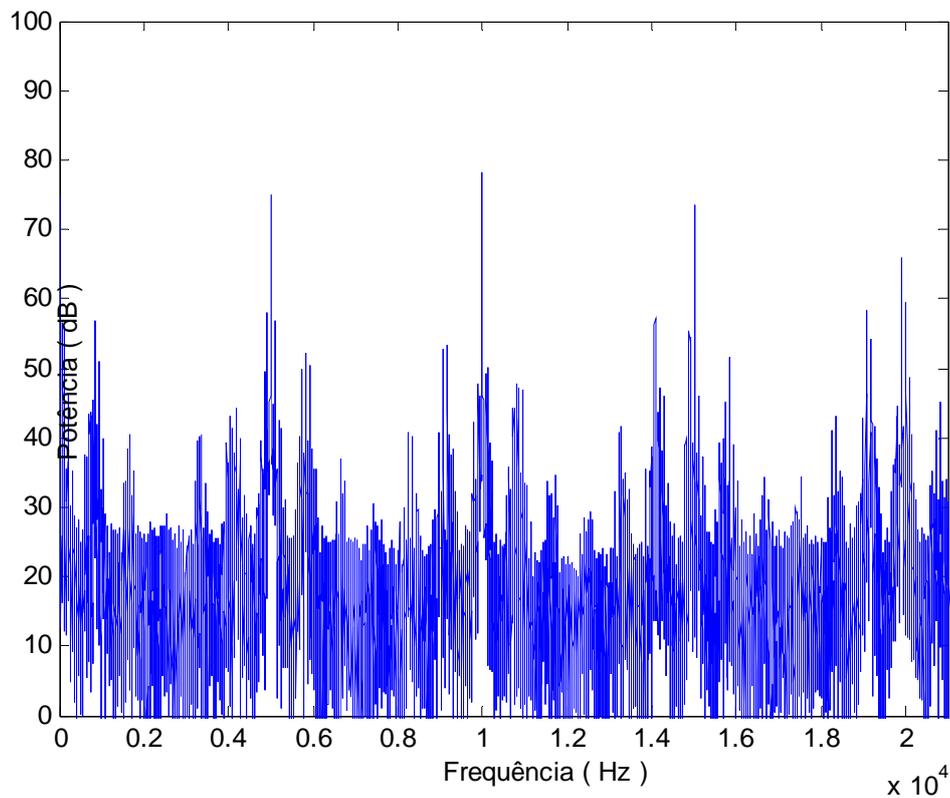


Figura 5.14 – Varredura do espectro de frequência da faixa de 6 kHz a 10 kHz

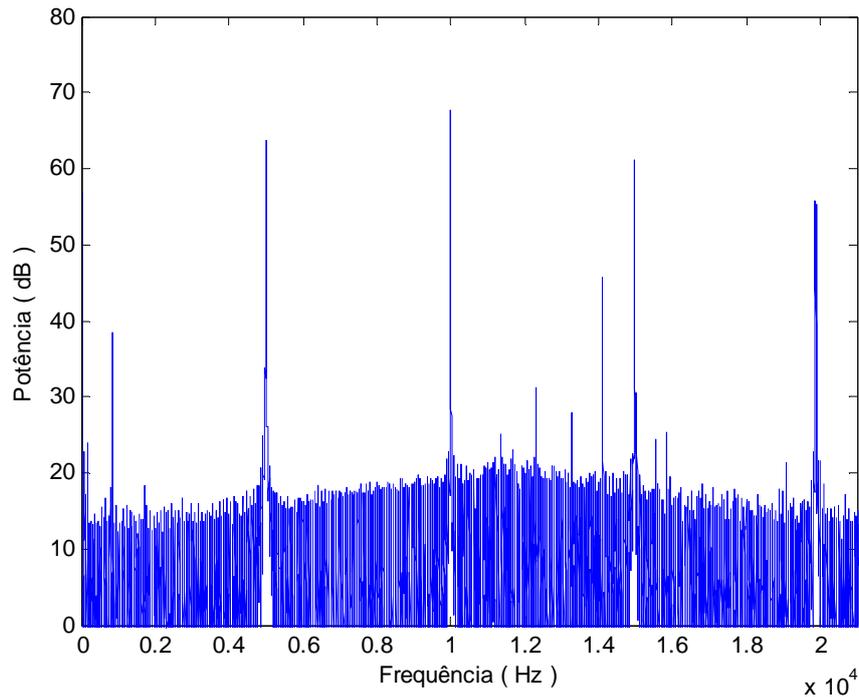
Podemos ver pela sequência de gráficos que a faixa de frequência que vai de 6 kHz a 10 kHz foi varrida sem que houvesse nenhum problema no funcionamento dos VCOs, e sem que as outras faixas fossem influenciadas pela variação.

A última etapa de testes corresponde à verificação da influência da amplitude do sinal sobre os dados adquiridos. Essa última verificação é, na verdade uma constatação da eficácia da atenuação dos sinais, feita pelos circuitos amplificadores operacionais, como um fator benéfico para a análise da resposta em frequência.

Refazendo a primeira montagem, com todas as entradas de controle dos VCOs ligadas em curto com as entradas de alimentação, mas sem a presença dos atenuadores nos circuitos e com as tensões de alimentação das duas faixas de frequência cortada pela metade, diminuída para 5 V, obtemos o gráfico da figura seguinte seguida do gráfico inicial, contendo os atenuadores no circuito, para uma melhor comparação:



(a)



(b)

Figura 5.15 – Gráfico da aquisição de dados com as frequências máximas das faixas dos sensores, (a) sem a presença dos atenuadores de amplitude, e (b) com a presença dos mesmos

A comparação dos gráficos deixa evidente a melhora na qualidade da aquisição do sinal. Portanto, podemos dizer que a atenuação da amplitude é bastante eficaz.

5.5 – FUNCIONAMENTO DO SENSOR

Ao final do processo de captação, que passou pelos sensores, pelos VCOs e pelos filtros, obtivemos as medidas de iluminância convertidas em frequência no *Matlab*.

Para convertermos essas medidas de volta para valores de iluminância, equações foram traçadas pela comparação dos valores de iluminação apresentados por um luxímetro e das frequências apresentadas pelo computador quando medidos ao mesmo tempo.

Durante dois dias foram coletados valores de iluminância com um luxímetro digital e os três sensores nas faixas de frequência de 1 a 5 kHz, 6 a 10 kHz e 11 a 15 kHz. O quarto

sensor foi usado para o detector de presença. Na tabela abaixo são apresentados os resultados da coleta.

Tabela 5.1 – Medidas num luxímetro vs. Medidas no *Matlab*

Luxímetro	Sensores		
	Faixas de Frequência		
	1-5 kHz	6-10 kHz	11-15 kHz
[lux]			
2	1,1519	5,6816	10,9312
5	1,1579	5,6897	10,9375
6	1,1599	5,6924	10,9396
8	1,1639	5,6978	10,9438
10	1,1679	5,7032	10,948
11	1,1699	5,7059	10,9501
13	1,1739	5,7113	10,9543
14	1,1759	5,714	10,9564
21	1,1899	5,7329	10,9711
22	1,1919	5,7356	10,9732
24	1,1959	5,741	10,9774
28	1,2039	5,7518	10,9858
29	1,2059	5,7545	10,9879
30	1,2079	5,7572	10,99
31	1,2099	5,7599	10,9921
32	1,2119	5,7626	10,9942
33	1,2139	5,7653	10,9963
37	1,2219	5,7761	11,0047
55	1,2579	5,8247	11,0425
71	1,2899	5,8679	11,0761
79	1,3059	5,8895	11,0929
139	1,4259	6,0515	11,2189
182	1,5119	6,1676	11,3092
193	1,5339	6,1973	11,3323
202	1,5519	6,2216	11,3512
206	1,5599	6,2324	11,3596
214	1,5759	6,254	11,3764
222	1,5919	6,2756	11,3932
224	1,5959	6,281	11,3974
239	1,6259	6,3215	11,4289
253	1,6539	6,3593	11,4583
257	1,6619	6,3701	11,4667
262	1,6719	6,3836	11,4772
263	1,6739	6,3863	11,4793
266	1,6799	6,3944	11,4856
267	1,6819	6,3971	11,4877
277	1,7019	6,4241	11,5087
285	1,7179	6,4457	11,5255
295	1,7379	6,4727	11,5465
296	1,7399	6,4754	11,5486
301	1,7499	6,4889	11,5591
317	1,7819	6,5321	11,5927
369	1,8859	6,6725	11,7019

650	2,4479	7,4312	12,292
774	2,6959	7,766	12,5524
798	2,7439	7,8308	12,6028
801	2,7499	7,8389	12,6091
816	2,7799	7,8794	12,6406
960	3,0679	8,2682	12,943
970	3,0879	8,2952	12,964
1005	3,1579	8,3897	13,0375
1052	3,2519	8,5166	13,1362
1073	3,2939	8,5733	13,1803
1088	3,3239	8,6138	13,2118
1112	3,3719	8,6786	13,2622
1153	3,4539	8,7893	13,3483
1170	3,4879	8,8352	13,384
1225	3,5979	8,9837	13,4995
1229	3,6059	8,9945	13,5079
1240	3,6279	9,0242	13,531
1282	3,7119	9,1376	13,6192
1333	3,8139	9,2753	13,7263
1352	3,8519	9,3266	13,7662
1358	3,8639	9,3428	13,7788
1456	4,0599	9,6074	13,9846
1484	4,1159	9,683	14,0434
1595	4,3379	9,9827	14,2765
1687	4,5219	10,2311	14,4697
2410	5,9679	12,1832	15,988
2420	5,9879	12,2102	16,009
2500	6,1479	12,4262	16,177
2970	7,0879		17,164
3120	7,3879		17,479
3420	7,9879		18,109
3500	8,1479		18,277
3530			18,34
3750			18,802
3870			19,054
4420			
4510			
4600			
4790			
5290			
5780			

Na Tabela 5.1, as frequências marcadas com a cor amarela são proibidas por estarem abaixo da faixa de uso de frequências dos respectivos sensores. A cor rosa destaca as frequências abaixo da faixa linear do VCO correspondente. A cor alaranjada destaca as frequências acima da faixa linear dos respectivos VCOs. A faixa vermelha mostra as frequências acima da faixa de uso dos respectivos sensores. E a faixa preta são os valores

que já não eram mais captados pelo computador, seja por atenuação dos filtros ou por estarem acima da frequência de áudio.

5.5.1 – Sensor 1

Da Tabela 5.1 acima, traçamos o gráfico correspondente de Iluminância versus frequência para obter a equação linear abaixo utilizando apenas os valores válidos para o sensor 1.

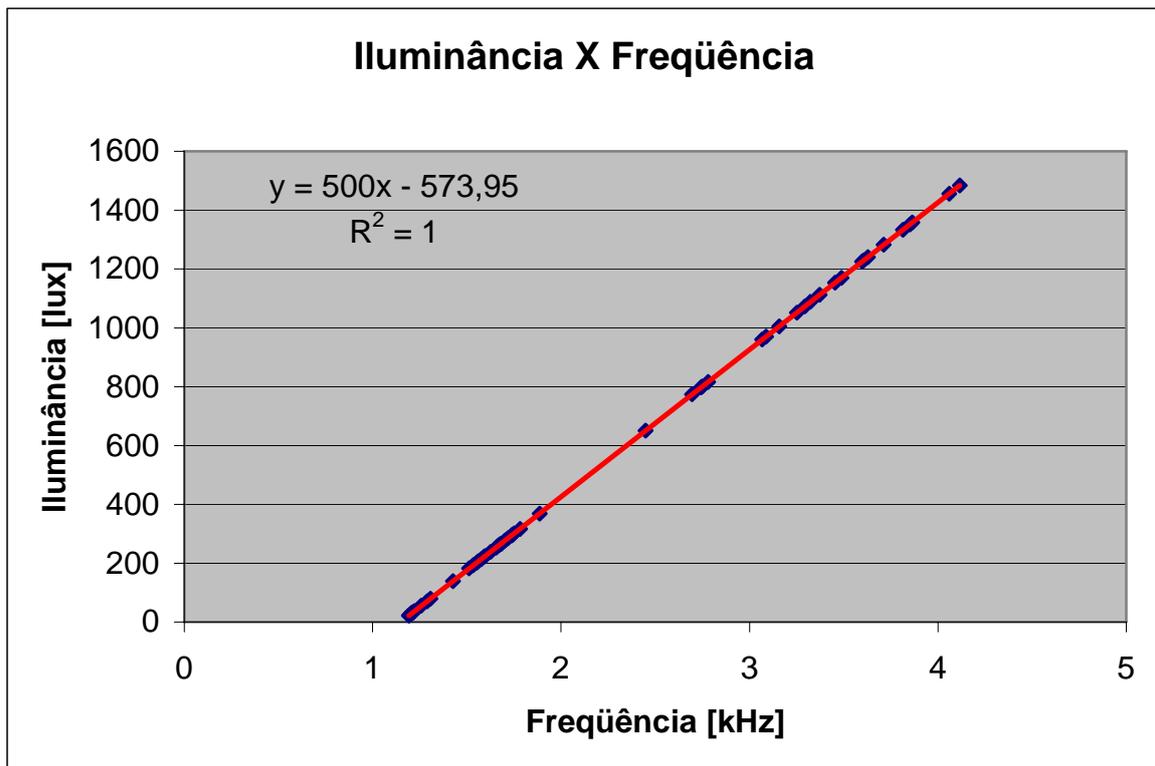


Figura 5.16 – Gráfico de Iluminância vs. Frequência para o sensor 1.

O sensor 1 apresentou uma faixa de operação entre 22 a 1484 lux.

5.5.2 – Sensor 2

Da Tabela 5.1 acima, traçamos o gráfico correspondente de Iluminância versus frequência para obter a equação linear abaixo utilizando apenas os valores válidos para o sensor 2.

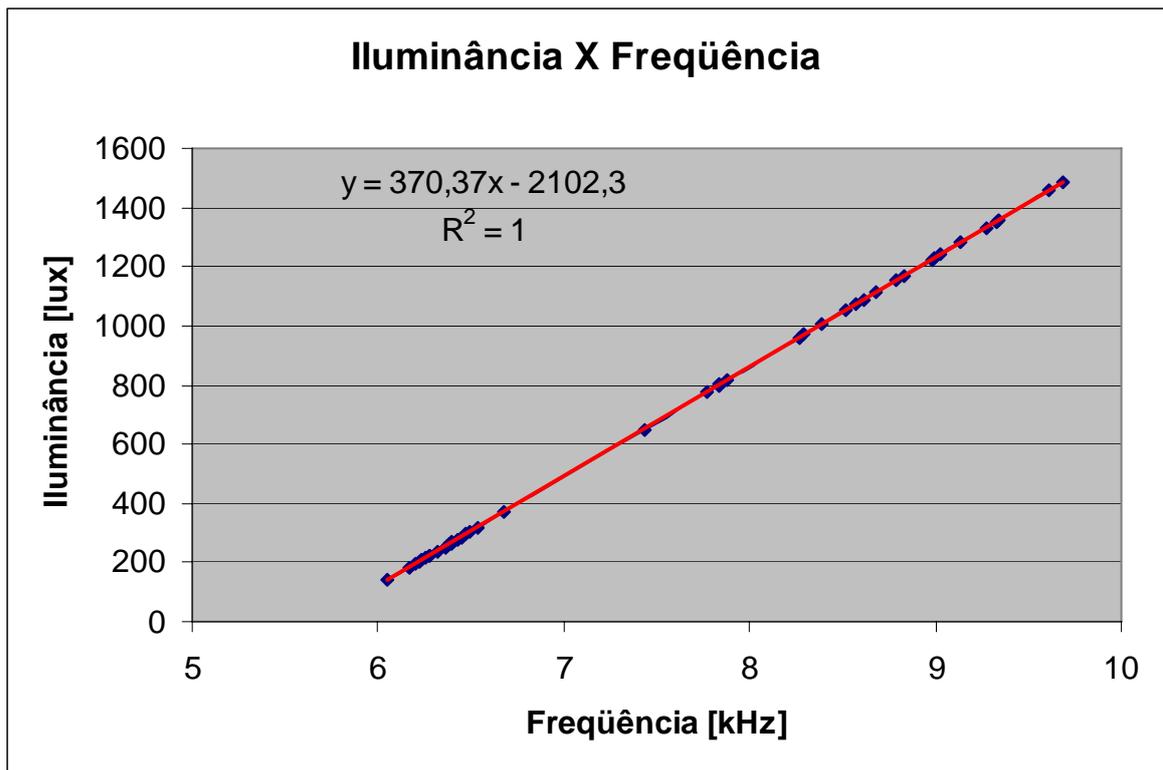


Figura 5.17 – Gráfico de Iluminância vs. Freqüência para o sensor 2.

O sensor 2 apresentou uma faixa de operação entre 139 a 1484 lux.

5.5.3 – Sensor 3

Da Tabela 5.1 acima, traçamos o gráfico correspondente de Iluminância versus freqüência para obter a equação linear abaixo utilizando apenas os valores válidos para o sensor 3.

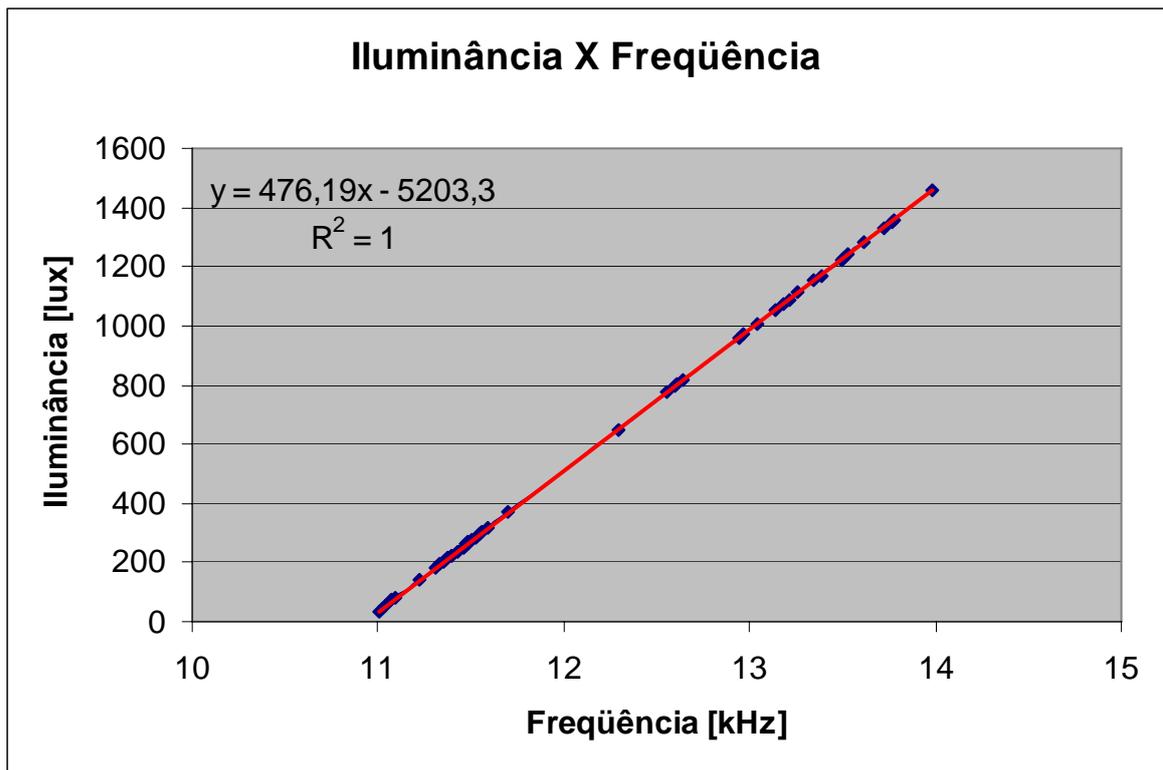


Figura 5.18 – Gráfico de Iluminância vs. Freqüência para o sensor 3.

O sensor 3 apresentou uma faixa de operação entre 37 a 1456 lux.

5.5.4 – Sensor 4

O quarto sensor, o sensor de presença, foi testado apenas quanto a sua variação de frequência conforme aproximávamos um objeto. As medidas mostraram que ele tinha uma frequência máxima de 18,3 kHz e a mínima ficou limitada pelo seu VCO, ou seja, 15,35 kHz.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO

Ao final de todo trabalho de graduação, principalmente os de pesquisa e experimentação, deve-se analisar tudo o que foi pretendido e fazer uma comparação com o que foi alcançado. Existem certos fatores externos que influenciam a conduta de qualquer tipo de experimentação. São fatores que, no intuito de aumentar a qualidade dos resultados, nos levam a novas pesquisas e até mesmo a mudanças radicais em algumas partes do trabalho.

Ao longo do período de realização deste trabalho nos deparamos com diversos tipos de dificuldades não previstas. A maioria dessas dificuldades foi relativa à implementação de circuitos para obtenção dos sensores, seja por lidarmos com chips muito frágeis mecânicamente como BPW 34, que se quebravam facilmente, ou com chips com baixa tolerância a variações em seus parâmetros de operação como o CD 4046 que tiveram que ser trocados com frequência. Apesar da grande quantidade de material de estudo disponível tanto na internet quanto nos próprios livros utilizados durante a graduação, uma desvantagem, porém, é a pequena porcentagem desses textos estarem disponíveis em língua portuguesa, o que demandava mais tempo de estudo.

Uma análise geral dos objetivos principais de nosso projeto nos indica os seguintes tópicos: fazer um estudo sobre a economia de energia na dimerização da iluminação ambiente, montar e implementar diferentes sensores, incluindo o de iluminação, para tal ambiente, e fazer a digitalização das informações vindas dos sensores, necessariamente através de uma placa de som, e com sinais na faixa de áudio, para a posterior análise.

Os três tópicos de nosso trabalho podem ser considerados realizados com sucesso. Tanto fica claro que a implementação de um controle de energia é viável economicamente, quanto simples de ser implementado em um ambiente comum, sem que seja necessário um processo gradual de adaptação durante a construção da sala, edifício ou qualquer outro ambiente. A implementação e construção dos circuitos sensores também pode ser considerada uma etapa bem sucedida. Os passos envolvidos nesse processo estão explicados de forma detalhada e precisa, da forma como realmente foi feita.

O terceiro e último tópico apresenta uma ressalva. Apesar de tudo que foi pretendido ter sido alcançado, existe uma grande restrição de operação. O programa MATLAB não é um

software que pode ser adquirido a um baixo custo. O desenvolvimento de um outro programa exclusivo para a captação seria uma alternativa ao uso do MATLAB, entretanto os estudos para o desenvolvimento de tal software, por si só, poderiam ser considerados como um projeto de graduação.

Podemos definir este projeto como a primeira etapa de um trabalho para controlar o consumo de energia e o conforto de um ambiente de trabalho. Essa primeira etapa consistiu em fazer um estudo sobre a viabilidade econômica da dimerização e a aquisição das informações para o mundo virtual. Na segunda parte seriam realizados estudos e experimentos afim de realizar a montagem e a implantação de circuitos para realizar o controle da energia despendida no ambiente. A segunda etapa do trabalho é uma boa sugestão para um trabalho futuro.

A captação dos sinais através da palca de som foi uma escolha baseada na economia e disponibilidade da entrada de microfone. Um novo projeto de aquisição através de outras entradas como a USB, pode se tornar uma escolha mais adequadas para se trabalhar com sinais em faixas de frequência diferentes das de áudio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT NBR 5413 Iluminância de Interiores. Abril, 1992
- [2] Instalações Elétricas / Julio Niskier e A. J. Macintyre. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- [3] Óptica e Lasers / Matt Young. São Paulo: Edusp, 1998.
- [4] Medical Instrumentation: Application and Design / John G. Webster. John Wiley & Sons, 1998.
- [5] A Física de Materiais e Dispositivos Eletrônicos / Sergio M. Rezende. Recife: Editora da Universidade Federal de Pernambuco, 1996.
- [6] Guia de Iluminação Philips. Obtido na *webpage* www.luz.philips.com em 15 de Novembro de 2006.
- [7] Data Acquisition of Low-Frequency Data Using a Sound Card / Armando C. Sibal II e Luis G. Sison. University of the Philippines.
- [8] VCO Transforms Sound Card Into Precision DC-Coupled ADC / David Prutchi, Michael Norris. Obtido na URL <http://www.elecdesign.com/Articles/Index.cfm?AD=1&ArticleID=2641> em 19 de Outubro de 2006.
- [9] Microeletrônica / Adel S. Sedra e Kenneth C. Smith. São Paulo: Makron Books, 2000.
- [10] Análise de Circuitos em Engenharia / J. David Irwin. São Paulo: Makron Books, 2000.
- [11] Modern and Analog Communication Systems / B. P. Lathi. Oxford University Press, 1998
- [12] Matlab Data Acquisition Toolbox help, obtido na URL <http://www.mathworks.com/support/product/product.html?product=DA> em 23 de outubro de 2006.
- [13] Rapid Practical Design of Active Filters / Davis E. Johnson e John L. Hilburn. John Wiley & Sons, 1975.
- [14] Fundamentals of Photonics / B.E.A.Saleh, M.C. Teich. New York :John Wiley, 1991.
- [15] Modern Optical Engineering: The Design of Optical Systems / W.J. Smith. Boston: McGraw-Hill, 1990.
- [16] Manual Luminotécnico Prático Osram. Obtido na *webpage* www.osram.com.br em 15 de Novembro de 2006.

[17] Manual de Sistemas Eletrônicos Osram. Obtido em www.osram.com.br em 15 de Novembro de 2006.

[18] Lutron Electronics Inc. Acessado no *website* www.lutron.com

[19] Fluorescent Dimming Ballasts: Fluorescent Lighting Control / Ken Walma. The Construction Specifier, Agosto de 2005. Obtido na URL <http://www.lutron.com/News/pdf/236734.pdf> em 23 de Novembro de 2006.

APÊNDICE A

Aquisição do sinal através da entrada de microfone – Linhas de comando do MATLAB

Criação do dispositivo objeto de entrada analógica *ai* para a placa de som:

```
ai = analoginput('winsound');
```

Criação de um ou dois canais para o objeto de entrada analógica:

```
addchannel(ai,1), para aquisição em MONO;
```

```
addchannel(ai,1:2), para aquisição em ESTEREO;
```

Definição dos parâmetros taxa de amostragem e tempo de aquisição, aquisição de 4 segundos de dados à taxa de 2 kHz:

```
set(ai, 'samplerate',2000), taxa de amostragem;
```

```
set(ai, 'samplespertrigger',8000), tempo de aquisição;
```

Iniciação da aquisição de dados na entrada *ai*:

```
Start(ai);
```

Esperar a aquisição ser completa – Pausa o matlab até que 4 segundos de dados sejam adquiridos:

```
Wait(ai,4);
```

Extração dos dados adquiridos e armazenados no objeto de entrada analógica *ai* para uma matriz (*data*) no ambiente de análise do MATLAB:

```
data = getdata(ai)
```

Plotamento do conteúdo de *data*, amostras versus voltagem:

```
plot(data)
```

```
xlabel('Amostras')
```

```
ylabel('Volts')
```

Realização da transformada de Fourier do conteúdo de *data*, e o seu plotamento:

```
Fs = get(ai, 'samplerate')
```

```
blocksize = get(ai, 'samplespertrigger')
```

```
[f,mag] = daqdocfft(data,Fs,blocksize)
```

```
plot(f,mag)
```

Determinação de um valor máximo de frequência em um segmento de amostra que vai de a até b dentro das amostras mag :

$segmentodeamostra = mag(a:b)$

$[ymax, maxindex] = max(segmentodeamostra)$

$maxfreq = f(maxindex) + a - 1$