



**CARLOS ANTÔNIO RUFINO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA  
A DETECÇÃO DE DISPERSÓIDES NO AR**

**LAVRAS - MG**

**2011**

**CARLOS ANTÔNIO RUFINO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA A DETECÇÃO DE  
DISPERSÓIDES NO AR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

**LAVRAS - MG**

**2011**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Rufino, Carlos Antonio.

Desenvolvimento de um sistema para detecção de dispersóides  
no ar / Carlos Antonio Rufino. – Lavras : UFLA, 2011.  
92p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.  
Orientador: Giovanni Francisco Rabelo.  
Bibliografia.

1. Dispersão. 2. Luz infravermelha. 3. Partículas. 4.  
Sedimentáveis. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 535.4

**CARLOS ANTÔNIO RUFINO**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA A DETECÇÃO DE  
DISPERSÓIDES NO AR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas, área de concentração em Modelagem de Sistemas Biológicos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 28 Abril de 2011.

Dr. Inácio Maria Dal Fabbro

UNICAMP

Dr. Wilian Lacerda Soares

UFLA

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Orientador

**LAVRAS - MG**

**2011**

*À minha esposa e filhos, pelo apoio incondicional, aos meus pais pelo incentivo,  
amizade e carinho dispensados, por tanto lutarem por mais este sonho.*

**OFEREÇO E DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, aos bons espíritos pelo exemplo e proteção.

À minha esposa Gilvaneide e aos meus filhos Adriana, Júnior e André, aos meus pais Manoel e Maria, pelo amor, carinho, amizade, confiança, por acreditarem na realização de mais este sonho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), por meio do Departamento de Engenharia (DEG).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Giovanne Francisco Rabelo, pela paciência, competência, companheirismo, amizade, dedicação e oportunidades de aprendizado.

À banca examinadora, composta pelos professores, Prof. Dr. Inácio Maria Dal Fabbro - UNICAMP e o Prof. Dr. Wilian Lacerda Soares - UFLA, pela participação, procedentes correções e sábias e oportunas sugestões que possibilitaram a conclusão deste trabalho.

Aos amigos que conquistei nessa etapa de minha vida; estes nunca serão esquecidos, Leonardo Scassi, Kleber, Robson, Rodrigo e Márcio.

A todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, prestaram auxílio e não foram citados neste trabalho; não por esquecimento; sem vocês nada teria sido possível.

***Muito obrigado!***

"Se consegui ver mais além,  
foi por me colocar sobre os ombros de gigantes".

Isaac Newton

## RESUMO

A quantidade de poeira em suspensão no ar pode ser prejudicial à saúde humana se não forem respeitados os limites previamente estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS). O ar está poluído quando contém elementos estranhos à sua composição natural: oxigênio, nitrogênio, gases nobres e vapor d'água e até dióxido de carbono. As formas mais comuns de poluição do ar são pelo monóxido de carbono (em excesso), dióxidos de carbono (em excesso), enxofre, óxidos de nitrogênio e por partículas diversas (poeiras). Nesse tipo de poluição é importante conhecer o tamanho das partículas ou particulados, sua composição química e forma geométrica. O tamanho das partículas (seus diâmetros) pode ser maior que 100 micrometros (um micrometro é a milionésima parte do metro), são ditas sedimentáveis, isto é, caem pela ação da gravidade, a partir do seu lançamento ao ar pela fonte emissora. A quantidade "despencada" dessas partículas sedimentáveis recebe o nome de "índice de sujidade". São essas partículas que sujaram os carros, as piscinas, as roupas no varal, pisos, parapeitos e móveis da casa. Os outros dois tipos de partículas analisadas, segundo seus diâmetros, são partículas em suspensão; partículas essas que possuem diâmetros menores que 100 micrometros, sua característica principal é que elas ficam em suspensão no ar atmosférico por muito mais tempo. Neste grupo de partículas em suspensão há uma divisão importante a considerar: partículas maiores que 10 micrometros e partículas menores que 10 micrometros. As partículas maiores que 10 micrometros, quando respiradas, não atingem nossos pulmões e ficam retidas nas vias respiratórias superiores (nariz, faringe, laringe, traquéia) e são expelidas sem grandes dificuldades. Já as menores que 10 micrometros atingem a árvore brônquica (pulmões), ficando ali alojadas (nos alvéolos). Este trabalho irá abordar a medição das partículas com dimensões acima de 100 micrometros, usando uma fonte de luz infravermelha, medindo o efeito do espalhamento da luz influenciado pela quantidade de partículas em suspensão no ar e sua concentração, permitindo a partir destes valores monitorar/controlar os níveis de particulados em suspensão no ar.

Palavras-chave: Dispersão. Luz infravermelha. Partículas. Dispersóides. Sedimentáveis.



## ABSTRACT

The amount of dust suspended in air can be harmful to human health if not complied with the limits previously established by the WHO (World Health Organisation). The air is polluted when it contains elements foreign to its natural composition: oxygen, nitrogen, noble gases and water vapor and even carbon dioxide. The most common forms of air pollution are carbon monoxide (in excess), carbon dioxide (excess), sulfur, nitrogen oxides and particulates by various (dust). In this type of pollution is important to know the size of particles or particulates, chemical composition and geometric shape. Particle size (their diameters) may be greater than 100 micron (one micron is one millionth of a meter), is called settling, ie, fall by gravity, from its launch into the air by emitting source. The quantity "plummeted" settling of these particles is called the "index sujudade. It is these particles that foul cars, pools, clothes on the clothesline, floors, railings and furniture in the house. The other two types of particles analyzed by their diameter, are suspended particles, these have diameters smaller than 100 micrometer, its main feature is that the drop does not depend on gravity. That is, they are suspended in the atmospheric air. In this group of particles in suspension is an important division to consider: particles larger than 10 micrometer and particles smaller than 10 micrometer. Particles larger than 10 micrometer, when breathed, does not reach our lungs and are retained in the upper airways (nose, pharynx, larynx, trachea) and are expelled without great difficulties, as those less than 10 micrometer can reach the bronchial tree (lung ), being housed there (the alveoli). In this paper we discuss the measurement of macroscopic particles with dimensions above 100 micrometer, using an infrared light source and measuring the effect of scattering of light influenced by the amount of suspended particles in the air, measuring the concentration of particles suspended in air, from allowing these values to monitor / control the levels of particulates in the air.

Keywords: Scattering. Infrared light. Particles. Dispersoids. Sedimentable.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de asperção.....	20
Figura 2	Sistema de asperção.....	20
Figura 3	Sistema de asperção.....	21
Figura 4	Imagem após explosão nos silos. Blaye, França 1997.....	23
Figura 5	Frente de onda esférica a partir de uma fonte puntiforme.....	28
Figura 6	Frente de onda esférica a partir de uma fonte puntiforme antes e depois de passar através de um pedaço de vidro de espessura variável.....	28
Figura 7	Efeitos da refração e reflexão.....	30
Figura 8	Raios de luz e frente de ondas ultrassônicas.....	31
Figura 9	Reflexão interna total.....	33
Figura 10	Reflexão especular a partir de uma superfície lisa.....	34
Figura 11	Reflexão difusa (a) e (b).....	35
Figura 12	Índice de refração versus comprimento de onda para vários materiais.....	36
Figura 13	Dispersão da luz.....	37
Figura 14	Polarização por espalhamento.....	39
Figura 15	Arranjo experimental básico em Back-Scattering.....	41
Figura 16	Arranjo experimental básico utilizado em medidas de espalhamento de luz.....	42
Figura 17	Hub de 7 portas, sua fonte de alimentação e um cabo de conexão.....	46
Figura 18	Hub e suas portas: primária e secundárias.....	47
Figura 19	Topologia USB (Estrela em Camadas).....	48
Figura 20	Topologia física.....	48
Figura 21	Arquitetura típica para um sistema USB.....	49
Figura 22	Diagrama em blocos do funcionamento do sensor de dispersóides.....	51
Figura 23	Onda quadrada de 500Hz usada como portadora.....	52
Figura 24	Onda senoidal medida na saída do modulador.....	53
Figura 25	Sinal recebido luz ambiente.....	54
Figura 26	Sinal recebido luz ambiente e o sinal espalhado.....	54
Figura 27	Sinal recebido da luz ambiente somado com o sinal espalhado.....	55
Figura 28	Sinal recebido depois do filtro passa altas.....	55
Figura 29	Sinal medido após a saída do filtro RC.....	56
Figura 30	Disposição dos pinos do PIC16F877A.....	57
Figura 31	Conexão placa controladora e a placa sensora.....	58
Figura 32	Placa controladora principal.....	59
Figura 33	Placa controladora principal.....	60

Figura 34	Interface USB.....	61
Figura 35	Interface gráfica.....	62
Figura 36	Visão frontal do tubo de PVC.....	63
Figura 37	Vista inferior do tubo de PVC.....	63
Figura 38	Balança analítica.....	64
Figura 39	Vista do sensor acoplado ao visor do tubo de PVC.....	65
Figura 40	Fluxograma do funcionamento software do PIC.....	68
Figura 41	Fluxograma de funcionamento do software da interface gráfica.....	69
Figura 42	Montagem do sensor em Protoboard.....	70
Figura 43	Interface gráfica em funcionamento.....	70
Figura 44	Ponto de medida sensor.....	71
Figura 45	Curva de resposta da saída do sensor de dispersóides com amido em pó.....	74
Figura 46	Gráfico da regressão linear, amostra de amido em pó.....	74
Figura 47	Curva de resposta da saída do sensor de dispersóides com madeira em pó.....	75
Figura 48	Gráfico da regressão linear, amostra de madeira.....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Características elétricas do CI 7805.....	52
Tabela 2 Concentração de pó de amido no ar.....	66
Tabela 3 Concentração de pó de madeira no ar.....	67
Tabela 4 Concentração de pó de amido no ar.....	73
Tabela 5 Concentração de pó de amido no ar.....	75

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BOR	Brow-out Reset
CCP	Compare/Capture/PWM
CPU	Unidade Central de Processamento
EHCI	Enhanced Host Controller Interface
E <sup>2</sup> PROM	Electrical Erasable Programmable Read Only Memory
EPA	Environment Protection Agency
GV	Grande Vitória
HC	Controlador Host
HUB	Host Universal Bus
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I <sup>2</sup> C	Inter-Integrated Circuit
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
LCD	Display de Cristal Líquido
LED	Diodo Emissor de Luz
MCRL	Master Clear Reset
MPS	Material Particulado Sedimentável
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira (Abreviação de ABNT)
NR	Norma Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPCODE	Código de Operação
PC	Computador Pessoal
PDA	Personal Digital Assistant
PIC	Peripheral Interface Controller
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra
POR	Power-on Reset
PVC	Cloreto de Polivinila
PWM	Modulação por Largura de Pulso
RAM	Memória de Acesso Aleatório
RPM	Rotações por Minuto
RXIR	Etapa Receptora de Luz Infravermelha
SI	Sistema Internacional
SPI	Serial Peripheral Interface
TXIR	Etapa Transmissora de Luz Infravermelha
UHCI	Universal Host Controller Interface
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
USB	Universal Serial Bus
UTP	Unshielded Twisted-Pairs

PVC

Cloreto de Polivinila

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	17
2.1	<b>Poluição atmosférica</b> .....	17
2.2	<b>Particulados e dispersóides</b> .....	17
2.3	<b>Fontes geradoras de poeira sedimentável</b> .....	18
2.3.1	<b>Na mineração</b> .....	18
2.3.2	<b>Na construção civil</b> .....	21
2.3.3	<b>Armazenamento de grãos</b> .....	22
2.4	<b>Propriedades da luz</b> .....	25
2.4.1	<b>Dualidade onda-partícula</b> .....	25
2.4.2	<b>A velocidade da luz</b> .....	26
2.4.3	<b>Propagação da luz</b> .....	27
2.4.4	<b>Construção de Huygens</b> .....	27
2.4.5	<b>Princípio de Fermat</b> .....	29
2.4.6	<b>Reflexão e refração</b> .....	29
2.4.7	<b>Reflexão interna total</b> .....	32
2.4.8	<b>Reflexão especular e reflexão difusa</b> .....	33
2.4.9	<b>Intensidade relativa da luz refletida e transmitida</b> .....	35
2.4.10	<b>Dispersão</b> .....	36
2.4.11	<b>Polarização</b> .....	37
2.4.12	<b>Polarização por espalhamento</b> .....	37
2.4.13	<b>Teoria de espalhamento da luz</b> .....	39
2.4.14	<b>Teoria de Rayleigh - apropriada para partículas de dimensão muito menor que o comprimento de onda da luz incidente</b> .....	40
2.4.15	<b>Microcontroladores da família PIC</b> .....	42
2.4.16	<b>Porta USB (Universal Serial Bus)</b> .....	45
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	50
3.1	<b>O detector</b> .....	50
3.1.1	<b>Funcionamento do detector</b> .....	50
3.2	<b>Montagem do experimento</b> .....	62
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	71
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	77
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	78
	<b>ANEXOS</b> .....	80

## 1 INTRODUÇÃO

A quantidade de poeira em suspensão no ar pode ser prejudicial à saúde humana se não forem respeitados os limites previamente estipulados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), além de constituir uma fonte de risco de explosão quando em ambientes fechados e em determinadas concentrações e condições ambientais.

Os ambientes de trabalho contaminados com poeiras da indústria da mineração e construção civil representam riscos de doenças ocupacionais para os trabalhadores expostos.

Dentre essas doenças encontra-se a silicose, principal doença ocupacional pulmonar no Brasil devido ao elevado número de trabalhadores expostos (MENDES, 1997).

Portanto, a silicose pode ser provocada por diversas atividades na indústria da mineração e construção civil.

Nesse tipo de poluição é importante saber o tamanho das partículas ou particulados, sua composição química e forma geométrica.

A areia também é amplamente utilizada em trabalhos de fundição, fabricação de vidros e na indústria cerâmica.

Neste estudo procurou-se estabelecer uma proposta de projeto para a construção de um detector utilizando um feixe de luz infravermelho e o desenvolvimento de uma interface gráfica capaz de medir, monitorar e controlar os níveis de concentração de particulados em suspensão no ar.

Este trabalho pode ainda ser utilizado no controle dos níveis de particulados em suspensão no ar com possíveis aplicações na indústria da mineração, construção civil e instalações agrícolas.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Poluição atmosférica**

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1991), poluição atmosférica é a alteração da composição ou propriedades do ar por qualquer forma de matéria e ou energia, estranha ou não à sua composição normal, que possa ou venha causar danos à saúde, fauna, flora e materiais, ou prejuízos à segurança, ao uso e gozo da propriedade, à economia e ao bem estar da comunidade.

Segundo Bakonyi (2010), com o aumento do contingente populacional nas cidades começou-se a pensar na qualidade do ar como uma questão de saúde pública.

### **2.2 Particulados e dispersóides**

Dentre os poluentes atmosféricos encontram-se os particulados (poeira) e dispersóides que são mais comumente encontrados no meio ambiente. Podem-se distinguir dois tipos de poeira: a poeira em suspensão formada por partículas menores que 10 micrometros e que permanecem muito tempo no ar e a poeira sedimentável que são partículas maiores que 10 micrometros que ficam pouco tempo em suspensão no ar.

Contudo, pouco se tem dito sobre a poeira sedimentável já que, segundo estudos, o mecanismo fisiológico de defesa dos homens e animais previne sua penetração nos pulmões e, portanto, não causa danos físicos às populações a ela exposta.

Os poluentes atmosféricos, como pó de rocha, são produzidos principalmente por operações de perfuração, extração mineral, carregamento, britagem de

pedra ou de mineral e nas explosões em minas.

Podem-se incluir também outras atividades como fontes geradoras de poeira sedimentável, como a indústria da construção civil, a abertura de túneis, o trabalho em pedreiras e o corte e a lapidação de pedras. Os usos industriais da areia pode ocasionar exposição a elevadas concentrações de sílica respirável, principalmente no uso da areia com finalidades abrasivas (jateamento de areia).

Pessoas excessivamente expostas à poeira, durante longos períodos, podem adquirir doenças pulmonares crônicas (MANFRED, 2003).

Segundo Mendes (1997), entre essas doenças encontra-se a silicose, principal doença ocupacional pulmonar no Brasil devido ao elevado número de trabalhadores expostos.

A silicose é uma doença causada pela inalação de partículas de dióxido de silício cristalino ( $\text{SiO}_2$ ), que é um elemento encontrado comumente depositado nas rochas que constituem a crosta terrestre.

Por esse motivo, as atividades industriais que envolvem corte ou polimento de rochas são fontes potenciais de sílica respirável.

## **2.3 Fontes geradoras de poeira sedimentável**

### **2.3.1 Na mineração**

A mineração tem importância para a história da humanidade, fornecendo um grande número de bens minerais, matérias-primas e insumos que são imprescindíveis ao progresso e desenvolvimento das civilizações. Todavia, associados à mineração existem problemas ambientais tanto no meio interno à mina como no meio externo.

No âmbito interno à mina os problemas fazem parte do campo de estudo da segurança e higiene do trabalho, e no âmbito externo das avaliações de

impacto ambiental.

A contribuição da mineração para a poluição do ar é principalmente a originada por poeira. A poluição por gases a partir da mineração é pouco significativa e, em geral, restringe-se à emissão de gases dos motores das máquinas e veículos usados na lavra e beneficiamento do minério.

A maior parte da poeira produzida pela mineração é poeira sedimentável, mas torna-se também poeira em suspensão. Embora a poeira sedimentável seja o menos grave dos problemas de poluição do ar, junto com alguma poeira em suspensão, que sempre se forma, representa um problema local que requer atenção e cuidados especiais(FONCECA, 1989).

No entanto, seus riscos podem ser reduzidos ou até mesmo eliminados utilizando-se de simples medidas de controle no ambiente e no homem.

Na medida do possível deve-se evitar o escapamento de poeira para a atmosfera, especialmente em regiões de pouca ventilação.

Podem-se controlar os níveis de poeira em suspensão no ambiente de mineração com o uso de técnicas de perfuração úmida, como o uso de pulverização de água em operações de extração, carregamento e britagem de mineral, conforme ilustram as Figuras 1, 2 e 3.



Figura 1 Sistema de aspersão  
Fonte: Irricom (2011)



Figura 2 Sistema de aspersão  
Fonte: Irricom (2011)



Figura 3 Sistema de aspersão  
Fonte: Irricom (2011)

Segundo Manfred (2003), geralmente, toda superfície rochosa trabalhada deve ser molhada para reduzir o escapamento de poeira no ar.

O uso da água em forma de nebulizadores na indústria da mineração pode ser considerado alto, podendo-se utilizar de sensores capazes de determinar o momento exato de acionamento dos nebulizadores, criando um ambiente controlado e reduzindo a níveis aceitáveis os particulados em suspensão no ar, bem como seu consumo de água para este processo, preservando, assim, o meio ambiente e reduzindo os custos de operação.

### **2.3.2 Na construção civil**

O déficit habitacional no país é de quase 8 milhões de moradias, de acordo com o Ministério das Cidades. Os últimos dados sobre o tema são de 2006 e têm como base a PNAD (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios)

realizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com números daquele mesmo ano. Este fato é justificado pelo desenvolvimento populacional nas cidades que vem crescendo desde a revolução industrial e, por isso, a indústria da construção civil também vem acompanhando este crescimento.

Na região da Grande Vitória (GV) estima-se que 12,5% do Material Particulado é gerado na atividade da construção civil. No período de 2000 a 2002, o IEMA (Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos) realizou o monitoramento da poeira sedimentável na região da GV, encontrando valores que variaram de 0,75 a 4,56 mg/cm<sup>2</sup>/30 dias.

Segundo Oliveira, Morais e Spala(2008), foi constatado que não existe parâmetro para MPS (Material Particulado Sedimentável) definido pela legislação ambiental brasileira. Entretanto, foram encontradas citações que remetem a um parâmetro norte-americano definido pela EPA (Environment Protection Agency). Segundo este, os níveis de poeira sedimentável não poderão exceder cinco gramas por metro quadrado por mês (g/m<sup>2</sup>/mês) em áreas residenciais e comerciais. Esse fato foi anteriormente observado pelo IEMA (2000 a 2002), quando todos os valores medidos estavam superiores aos de referência norte-americana.

### **2.3.3 Armazenamento de grãos**

Uma outra fonte geradora de poeira, desta feita com risco de explosão, está associada aos silos de armazenamento de grãos, que são construções indispensáveis ao armazenamento da produção agrícola e influem decisivamente na sua qualidade e preço. Entretanto, por sua dimensão e complexidade, podem ser fonte de vários e graves acidentes do trabalho. Por serem os silos locais fechados, enclausurados e perigosos são conhecidos como espaços confinados e

são objetos da NR33 - Espaços Confinados, da NBR 14.787 da ABNT e de alguns itens da NR 18 - Construção Civil do MTE (Ministério do Trabalho e Emprego) (SÁ, 2007).

Essas explosões ocorrem frequentemente em instalações agrícolas ou industriais onde são beneficiados os *particulados* como açúcar, chá, cacau e as *farinhas* como o trigo, o milho e a soja.

O milho pode ser considerado um dos grãos mais explosivos e perigosos, embora toda poeira de grãos possa ser observada como muito perigosa (SÁ, 2007).

Um exemplo de explosão em silos de armazenamento de grãos é ilustrado na Figura 4.



Figura 4 Imagem após explosão nos silos. Blaye, França 1997  
Fonte: Rangel (2007)

Portanto, o controle dos níveis destes particulados em ambientes confinados deve ser considerado.

Em geral, as explosões devem-se a centelhas entre objetos eletricamente

carregados ou entre um objeto eletricamente carregado e um objeto ligado à terra.

Quando uma pessoa entra em contato com certos objetos, como suéter de lã, um tapete de nylon ou mesmo um escorregador de plástico, pode adquirir uma carga elétrica estática considerável. Essa carga pode ser suficiente para produzir uma centelha, se esta pessoa eletricamente carregada aproximar a mão de um corpo aterrado, como a parede interna de um silo de armazenamento de grãos, por exemplo. Em muitas indústrias que trabalham com pó, como as de alimentos e as de cosméticos, centelhas deste tipo podem ser muito perigosas. Mesmo que a substância de que o pó é composto não seja inflamável, quando pequenos grãos estão em suspensão no ar (caso que se aplica aos silos de armazenamento de grãos), e portanto cercados de oxigênio, podem queimar tão depressa que a nuvem de pó explode.

Os engenheiros de segurança não podem eliminar todas as causas possíveis de centelhas das indústrias que lidam com pó, mas podem procurar manter a quantidade de energia disponível nas centelhas bem abaixo de um valor limite  $U \approx 150 \text{ mJ}$ , acima do qual os grãos de pó se incendiam (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009). Supõem-se que uma pessoa adquire uma carga elétrica ao entrar em contato com várias superfícies ao caminhar no interior de um depósito, dessa forma é possível modelar uma pessoa como se fosse um capacitor esférico de raio  $R = 1,8 \text{ m}$ , por exemplo.

Conforme a equação (2.1), mostra a relação entre a energia estática “ $U$ ” a permissividade do meio no vácuo “ $\epsilon_0$ ” e o raio “ $r$ ” resultando em uma tensão “ $V$ ”.

$$V = \sqrt{\frac{2U}{4\pi\epsilon_0 r^2}} = \sqrt{\frac{2(150 \times 10^{-3} \text{ J})}{4\pi(8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2})(1,8 \text{ m})^2}} = 3,9 \times 10^4 \text{ V} \quad (2.1)$$

Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2009)



Como mostra o resultado da equação acima, considerando uma pessoa carregada estaticamente, esta poderá gerar uma tensão de 39.000V, e essa tensão pode ser suficiente para gerar uma centelha e desencadear a ignição em ambientes com particulados em suspensão, possibilitando possível explosão.

Pode-se diminuir os riscos de uma centelha mantendo-se a concentração da poeira em suspensão em níveis aceitáveis ou reduzindo os níveis de energia para valores menores que  $U=150mJ$  (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

## 2.4 Propriedades da luz

### 2.4.1 Dualidade onda-partícula

A natureza ondulatória da luz foi demonstrada pela primeira vez por Thomas Young quando, em 1801, observou o padrão de interferência de duas fontes coerentes de luz produzindo ao iluminar um par de fendas estreitas e paralelas com uma única fonte de luz. A teoria ondulatória da luz culminou em 1860 com a previsão de Maxwell para as ondas eletromagnéticas. A natureza corpuscular da luz foi proposta primeiramente por Albert Einstein em 1905 em sua explicação para o efeito fotoelétrico. Uma partícula de luz chamada de *fotón* tem energia “ $E$ ” que está relacionada à frequência “ $f$ ” e ao comprimento de onda “ $\lambda$ ” da onda de luz pela equação de Einstein:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.2)$$

Onde  $c$  é a velocidade da luz e  $h$  é a constante de Plank:

$$hc = 6,626 \times 10^{-34}(\text{J.s}) = 4,136 \times 10^{-15} \text{eV.s}$$

Como a energia é geralmente dada em elétrons-volts e o comprimento de onda em nanômetros, é conveniente expressar a combinação  $hc$  em  $eV.nm$ . Por isso tem-se:

$$hc = (4,1357 \times 10^{-15} eV.s) \left( 2,9979 \times 10^8 \left( \frac{nm}{s} \right) \right) = 1,2398 \times 10^{-6} eV.nm$$

ou

$$hc = 1240 eV.nm$$

A propagação da luz é governada pela suas propriedades ondulatórias, enquanto a troca de energia entre a luz e a matéria é governada pelas suas propriedades corpusculares. Esta dualidade onda-partícula é uma propriedade geral da natureza, por exemplo, a propagação de elétrons (e outras entidades chamadas de partículas) também é governada pelas propriedades ondulatórias, enquanto a troca de energia entre os elétrons e as outras partículas é governada pelas propriedades corpusculares (MACEDO; TIPLER, 2000).

#### 2.4.2 A velocidade da luz

Antes do século XVII muitas pessoas pensavam que a velocidade da luz visível era infinita, e um esforço para medir a velocidade da luz visível foi feito por Galileu. Ele e um colega se posicionaram em cumes de morros separados por quilômetros, cada um com uma lanterna e um obturador para obstruí-la.

Galileu propôs medir o tempo que a luz levaria para viajar entre eles dois, é claro que apesar desse método ser sensato, em princípio, a velocidade da luz é tão grande que o intervalo de tempo que a luz levaria para percorrer o trajeto era muito menor do que a variação de tempo de resposta do olho humano.

Hoje a velocidade da luz é definida exatamente como  $c=299.792.458$

$m/s$  e a unidade padrão de comprimento é o metro. O metro é a distância que a luz viaja (no vácuo) em  $1/299.792.458$  s. Para efeito de cálculo pode-se adotar a aproximação  $3 * 10^8 m/s$  (MACEDO; TIPLER, 2000).

### 2.4.3 Propagação da luz

Maxwell estabeleceu teoricamente que a luz é uma modalidade de energia radiante que se propaga através de ondas eletromagnéticas. Porém, muito antes da teoria das ondas eletromagnéticas de Maxwell, a propagação da luz e de outras ondas era descrita empiricamente por dois princípios interessantes e muito diferentes, atribuídos ao físico Cristian Huygens (1629-1695) e ao matemático francês Pierre de Fermat (1629-1665) (MACEDO; TIPLER, 2000).

### 2.4.4 Construção de Huygens

A Figura 5 mostra uma porção de uma onda esférica saindo de uma fonte puntiforme; a frente de onda é o local dos pontos com fase constante. Se o raio de uma frente de onda é  $r$  no instante  $t$ ; seu raio no instante  $t + \Delta t$  será  $r + c\Delta t$ , onde  $c$  é a velocidade da onda. Entretanto, se uma parte da onda é bloqueada ou se a onda passa através de um meio diferente, como ilustra a Figura 6, a determinação da nova posição da frente de onda no instante  $t + \Delta t$  é muito mais difícil.

A propagação de qualquer frente de onda através do espaço pode ser descrita usando a construção geométrica inventada por Huygens em 1678, conhecida hoje como construção de *Huygens* ou princípio de *Huygens*:

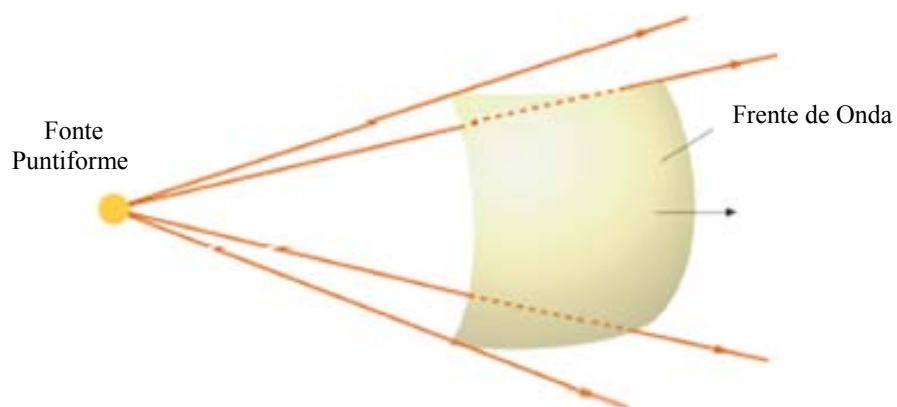


Figura 5 Frente de onda esférica a partir de uma fonte puntiforme  
Fonte: Macedo e Tipler (2000)

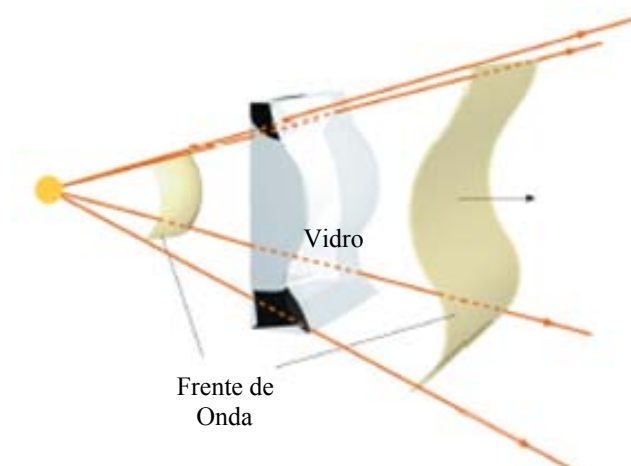


Figura 6 Frente de onda esférica a partir de uma fonte puntiforme antes e depois de atravessar um pedaço de vidro de espessura variável  
Fonte: Macedo e Tipler (2000)

**Teorema 2.4.1** (Construção de Huygens). *Cada ponto em uma frente de onda primária serve como fonte de ondas secundárias esféricas que avançam com a velocidade da onda para o meio de propagação. A frente de onda*

*primária em algum instante posterior será o envelope destas ondas secundárias.*

#### 2.4.5 Princípio de Fermat

A propagação da luz também pode ser descrita pelo princípio de Fermat:

**Teorema 2.4.2 (Princípio de Fermat).** *A trajetória seguida pela luz viajando de um ponto a outro é tal que o tempo de viagem é o mínimo. Isto é, a luz percorre a trajetória mais rápida. A trajetória de menor tempo não é necessariamente a trajetória de menor distância (MACEDO; TIPLER, 2000).*

#### 2.4.6 Reflexão e refração

A velocidade da luz em um meio transparente como o ar, a água ou o vidro é menor que a velocidade  $3 \cdot 10^8$  m/s no vácuo. Um meio transparente é caracterizado por um índice de refração “ $n$ ”, o qual é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo “ $c$ ” e a velocidade no meio “ $v$ ”:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.3)$$

Quando um feixe de luz incide na interface entre dois meios diferentes, tal como a interface entre ar e vidro, parte da energia da luz é refletida e parte entra no segundo meio. Se a luz incidente não é perpendicular à superfície, então o feixe transmitido não é paralelo ao feixe incidente. A variação na direção do raio transmitido é chamada de *refração*.

A Figura 7 mostra que o ângulo de reflexão  $\theta_1'$  é igual ao ângulo de incidência  $\theta_1$ . O ângulo de refração  $\theta_2$  é menor que o ângulo de incidência se a velocidade da luz no segundo meio é menor do que no meio incidente.

Como mostra a Figura 7, um raio de luz incidindo em uma interface suave entre o vidro e o ar, o ângulo  $\theta_1$  entre o raio incidente e a normal (a linha perpendicular à superfície) é chamado de ângulo de incidência e o plano contendo o raio incidente e a normal é chamado de plano de incidência.

O Raio refletido está no plano de incidência e forma um ângulo de  $\theta_1'$  com a normal que é igual ao ângulo de incidência.

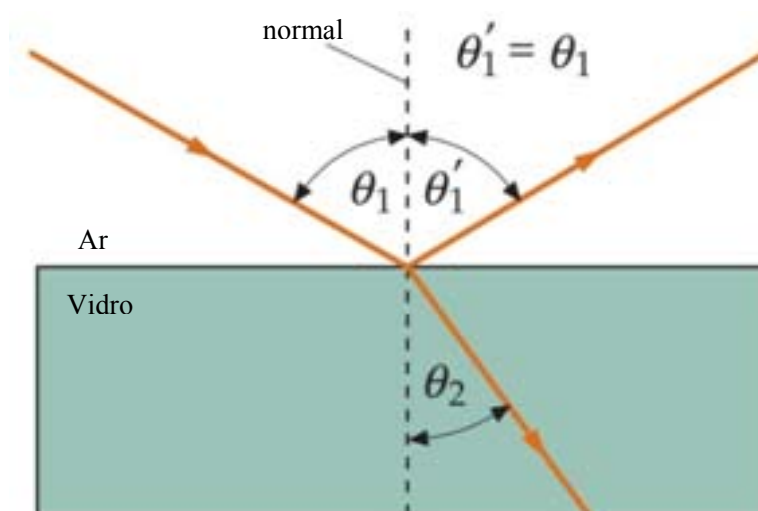


Figura7 Efeitos da refração e reflexão  
Fonte: Macedo e Tipler (2000)

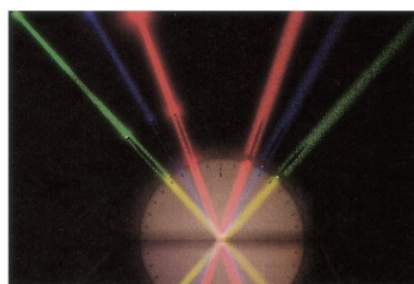
Portanto:

$$\theta_1' = \theta_1 \quad (2.4)$$

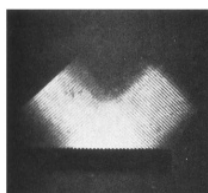
O resultado da equação 2.21 é conhecida como a lei da reflexão. A lei da reflexão é válida para qualquer tipo de onda.

A Figura 8 ilustra a lei da reflexão para raios de luz e para frentes de onda de ondas ultrassônicas.

O raio que entra no vidro ilustrado pela Figura 7 é chamado de *raio refratado*, e o ângulo  $\theta_2$  é chamado de ângulo de refração. Quando uma onda cruza a interface onde a velocidade da onda é reduzida, como no caso da onda entrando no vidro a partir do ar, o ângulo de refração é menor que o ângulo de incidência  $\theta_1$ , como mostrado pela Figura 7, isto é, o raio refratado é inclinado em direção à normal. Se, por outro lado, o feixe de luz se originar no vidro e for refratado no ar, então o raio incidente se afastará da normal.



(a)



(b)

Figura 8 Raios de luz e frente de ondas ultrassônicas  
Fonte: Macedo e Tipler (2000)

O ângulo de refração  $\theta_2$  depende do ângulo de incidência e da velocidade relativa das ondas no meio incidente e  $v_2$  é a velocidade da onda no meio de

transmissão, os ângulos de incidência e de refração estarão relacionados por:

$$\frac{1}{v_1} \sin \theta_1 = \frac{1}{v_2} \sin \theta_2 \quad (2.5)$$

A equação 2.5 é válida para a refração de qualquer tipo de onda incidente em uma interface separando dois meios. Combinando a equação 2.20 com a equação 2.5, obtemos a lei de Snell para a refração:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.6)$$

#### 2.4.7 Reflexão interna total

A Figura 9 ilustra uma fonte puntiforme no vidro e raios incidindo na interface vidro-ar em vários ângulos. Todos os raios não perpendiculares à interface são desviados para longe da normal.

À medida que o ângulo de incidência aumenta, o ângulo de refração aumenta até que um ângulo crítico de incidência  $\theta_c$  seja atingido, para o qual o ângulo de refração é de  $90^\circ$ .

Para ângulos de incidência maiores que o ângulo crítico não existe raio refratado. Toda a energia é refletida. Esse fenômeno é chamado de *reflexão interna total*. O ângulo crítico também pode ser determinado em termos dos índices de refração dos dois meios resolvendo a equação 2.6, considerando  $\sin \theta_2$  igual a  $90^\circ$  (MACEDO; TIPLER, 2000).



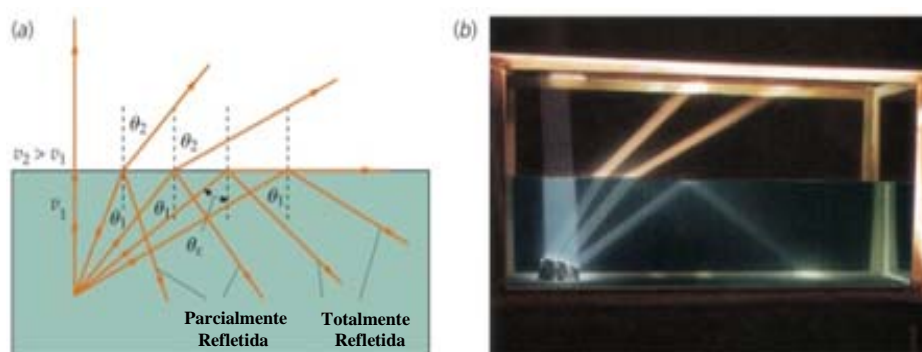


Figura 9 Reflexão interna total  
 Fonte: Macedo e Tipler (2000)

#### 2.4.8 Reflexão especular e reflexão difusa

A Figura 10 representa a reflexão-especular que mostra um feixe de raios de luz de uma fonte puntiforme “ $P$ ” que são refletidos a partir de uma superfície plana. Depois da reflexão, os raios divergem exatamente como se estivessem vindo do ponto  $P'$  atrás da superfície (o ponto  $P'$  é chamado de ponto de imagem). Quando os raios entram no olho humano, este não consegue distinguir raios que realmente divergissem de uma fonte em “ $P$ ”.

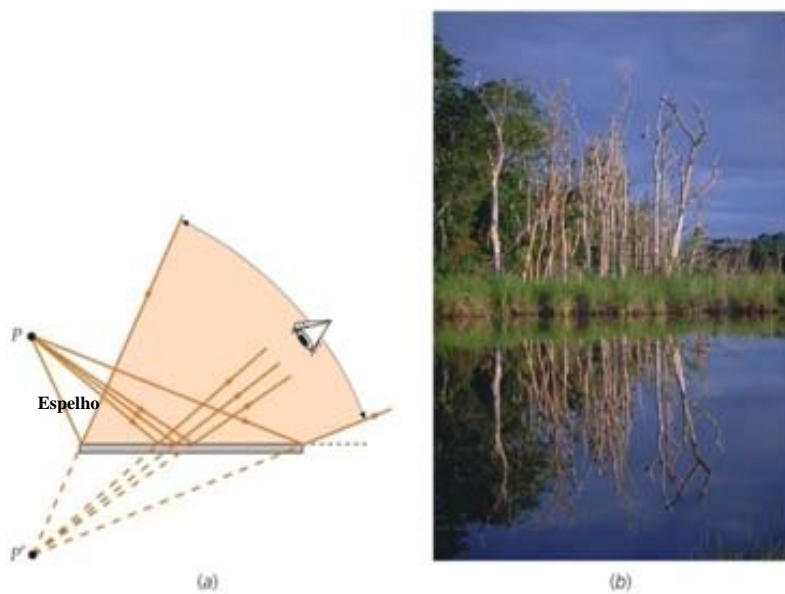


Figura 10 Reflexão especular a partir de uma superfície lisa  
Fonte: Macedo e Tipler (2000)

A reflexão a partir de uma superfície lisa é chamada de *reflexão especular*. Ela difere da *reflexão difusa*, ilustrada pela Figura 11. Consequentemente, como a superfície é rugosa, os raios de um ponto refletem em direções aleatórias e não divergem de nenhum ponto, logo não existe formação de imagem.

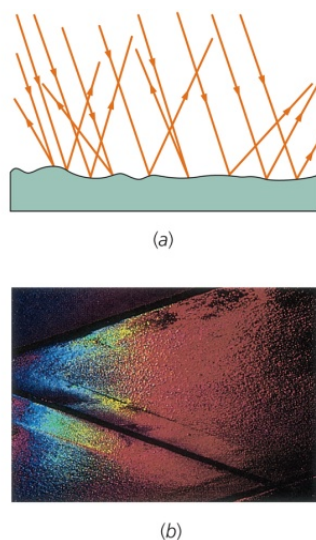


Figura 11 Reflexão difusa (a) e (b)  
 Fonte: Macedo e Tipler (2000)

#### 2.4.9 Intensidade relativa da luz refletida e transmitida

A fração da energia luminosa refletida em uma interface como, por exemplo, entre o ar e o vidro, depende da maneira aplicada do ângulo incidente, da orientação do vetor campo elétrico associado à onda e dos índices de refração dos dois meios. Para o caso especial de incidência normal ( $\theta_i = \theta_r = 0$ ) pode-se mostrar que a intensidade refletida é:

$$I = \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 I_0 \quad (2.7)$$

Onde  $I_0$  é a intensidade da luz incidente e  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração dos dois meios. Para um caso típico de reflexão em uma interface limpa ar-vidro, onde  $n_1 = 1$  e  $n_2 = 1,5$ , a equação 2.7 fornece  $I = I_0/25$ , ou seja, apenas 4% da energia é refletida, sendo que o restante da energia é transmitida.

### 2.4.10 Dispersão

O índice de refração de um material depende levemente do comprimento de onda. Para muitos materiais quando “ $n$ ” diminui levemente com o aumento do comprimento de onda (Figura 12).

A dependência do índice de refração com o comprimento de onda ( $\lambda$ , e, conseqüentemente, com a frequência) é chamada de *dispersão*.

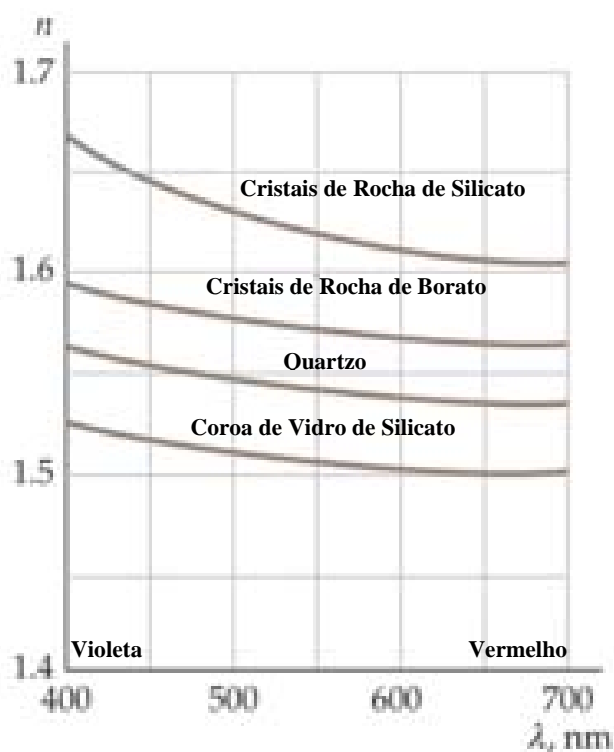


Figura12 Índice de refração *versus* comprimento de onda para vários materiais  
Fonte: Macedo e Tipler (2000)

Quando um feixe de luz branca incide sobre a superfície de um prisma de vidro com algum ângulo, o ângulo de refração (que é medido em relação à

normal), e a luz de menor comprimento de onda (em direção à extremidade violeta do espectro) sofrem, conseqüentemente, um maior desvio em relação à normal do que os comprimentos de onda mais longos; o feixe de luz branca é assim separado, ou sofre dispersão nas cores que o compõem. (Figura 13).

#### 2.4.11 Polarização

Em uma onda eletromagnética, a direção do campo elétrico é perpendicular à direção de propagação da onda. Se o campo elétrico permanece paralelo a uma linha perpendicular à direção de propagação, dizemos que a onda está *linearmente polarizada*.

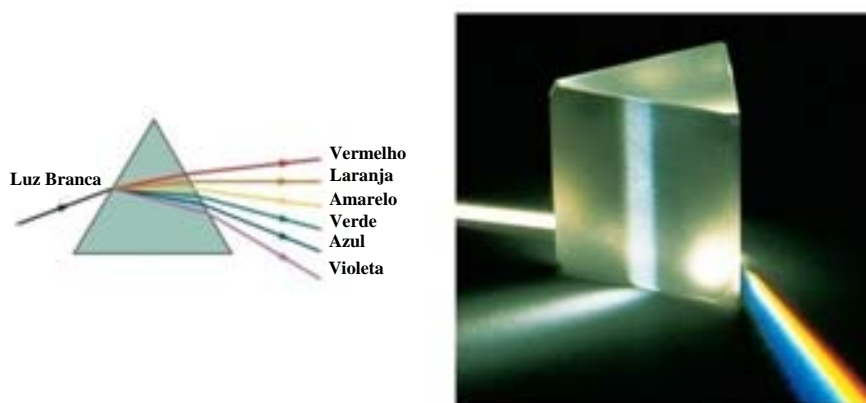


Figura 13 Dispersão da luz  
Fonte: Macedo e Tipler (2000)

#### 2.4.12 Polarização por espalhamento

O fenômeno de absorção e irradiação é chamado de *espalhamento*. O espalhamento pode ser demonstrado incidindo um feixe de luz através de um recipiente contendo água à qual uma pequena quantidade de farinha de trigo foi

adicionada. As partículas de farinha de trigo espalham a luz, tornando o feixe visível. Um outro exemplo familiar de espalhamento da luz é o realizado pelas moléculas de ar, que tendem a espalhar comprimentos de onda curtos mais do que os longos, conferindo ao céu sua coloração azulada.

O entendimento da polarização por espalhamento se dá nas cargas em um átomo espalhador como antenas do tipo dipolo elétrico, que irradiam ondas de intensidade máximas nas direções perpendiculares ao eixo da antena e intensidades nulas ao longo do eixo da antena.

O vetor campo elétrico da luz espalhada perpendicularmente à direção de propagação está no plano do eixo da antena e do ponto de campo. A Figura 14 mostra um feixe de luz não polarizada que inicialmente viaja ao longo do eixo  $z$ , incidindo em uma partícula na origem.

O campo elétrico no feixe de luz tem componentes na direções  $x$  e  $y$  perpendiculares à direção de movimento do feixe de luz. Esses campos provocam oscilações das cargas no interior da molécula no plano  $z=0$ , e nenhuma oscilação ao longo da direção  $z$ .

Podem-se associar estas oscilações como uma superposição de uma oscilação ao longo do eixo  $x$  e outra ao longo do eixo  $y$ , e cada uma destas oscilações produz radiação que se comporta como um dipolo. Portanto, a oscilação ao longo do eixo  $x$  não produz radiação ao longo do eixo  $x$ , o que significa que a luz irradiada ao longo deste eixo é produzida apenas pelas oscilações ao longo do eixo  $y$ . Consequentemente, a luz irradiada ao longo do eixo  $x$  está polarizada com seu campo elétrico paralelo ao eixo  $y$ .

Então, pode-se generalizar como a luz espalhada em uma direção perpendicular ao feixe de luz incidente é polarizada com seu campo elétrico perpendicular ao feixe de luz incidente e à direção de propagação da luz espalhada (MACEDO; TIPLER, 2000).

A Figura 14 ilustra a luz não polarizada se propagada na direção  $+z$  incide em um centro de espalhamento localizado na origem. A luz espalhada no plano  $z=0$  na direção de  $\pm x$  é polarizada paralelamente ao eixo  $y$  (e a luz espalhada na direção  $\pm y$  é polarizada paralelamente ao eixo  $x$ ).

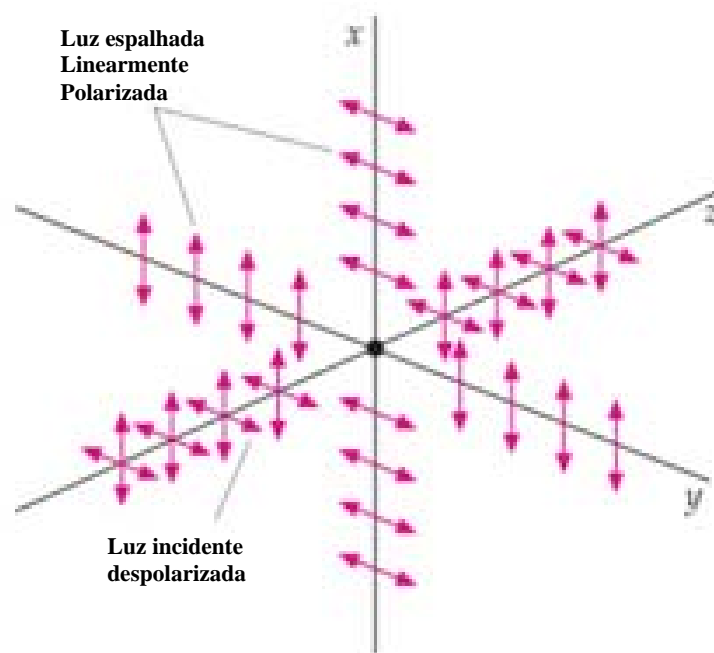


Figura 14 Polarização por espalhamento  
Fonte: Macedo e Tipler (2000)

#### 2.4.13 Teoria de espalhamento da luz

Quando a radiação eletromagnética atinge uma partícula, o vetor elétrico da onda de luz interage com os átomos nela contidos, retirando os elétrons da posição de equilíbrio e induzindo a formação de um dipolo momentâneo de magnitude determinada pela polarizabilidade “ $\alpha$ ” do material. A polarizabilidade de uma esfera de índice de refração “ $n$ ” e raio “ $a$ ” é proporcional ao seu volume, sendo dada por:

$$\alpha = 4\pi\epsilon_0 a^3 \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right) \quad (2.8)$$

Uma vez que a partícula é pequena, comparada ao comprimento da onda de luz, pode-se assumir que, em qualquer instante, toda a extensão da partícula esta sujeita ao mesmo campo elétrico. O vetor elétrico da onda de luz flutua em magnitude com uma frequência  $\nu$ , e, devido a isto, o dipolo também vai flutuar, com a mesma frequência  $\nu$ , embora não necessariamente em fase. Um dipolo flutuante emite energia continuamente, na forma de radiação eletromagnética de frequência  $\nu$ , e assim ocorre o espalhamento de luz.

#### 2.4.14 Teoria de Rayleigh - apropriada para partículas de dimensão muito menor que o comprimento de onda da luz incidente

Em 1871, Lord Rayleigh apresentou um tratamento aproximado que relacionava a intensidade de luz espalhada ( $I$ ) por partículas com:

- a) a dimensão das partículas;
- b) o índice de refração do material que constitui as partículas;
- c) o comprimento de onda da radiação incidente;
- d) a intensidade da radiação incidente.

Segundo a teoria de Lord Rayleigh, a intensidade de luz espalhada por uma partícula de índice de refração próximo da unidade e diâmetro da ordem de  $1/20$  do comprimento de onda da radiação incidente é dada por:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{8\pi^4}{\lambda^4 r^2} \left( \frac{\alpha}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta) \quad (2.9)$$

Fonte: Pecora (1985)



Onde  $I_0$  é a intensidade da radiação incidente não polarizada, de comprimento de onda  $\lambda$ , que incide sobre a partícula, e  $\alpha$  é a polarizabilidade do material que forma a partícula. O ângulo  $\theta$  é aquele formado entre o feixe de radiação incidente e o feixe de radiação espalhado, sendo que a intensidade  $I$  é medida a uma distância  $r$  da partícula, conforme ilustra a Figura 16.

A intensidade de luz espalhada em um ângulo  $\theta$ , por um número  $N_p$  de partículas por unidade de volume é dada por:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{v \pi^2 (\alpha_1^2 - \alpha_2^2)^2}{2 \lambda^2 r^2 (\alpha_1^2 + \alpha_2^2)^2} v^2 N_p (1 + \cos^2 \theta) \quad (2.10)$$

Fonte: Pecora(1985)

Onde  $v$  é o volume de uma partícula. Nesta equação, os termos  $I$  e  $\cos^2$  referem-se, respectivamente, às componentes polarizadas vertical e horizontal da luz espalhada. A Figura 15 ilustra o "Setup" básico para a medição por espalhamento em *Back-Scattering*.

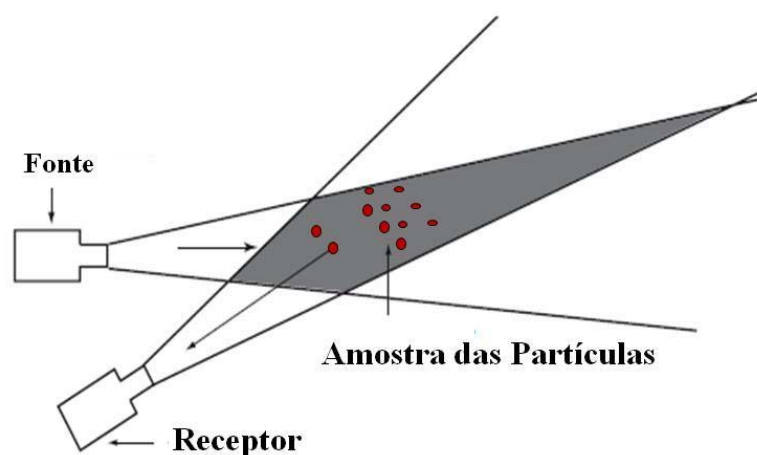


Figura 15 Arranjo experimental básico em Back-Scattering

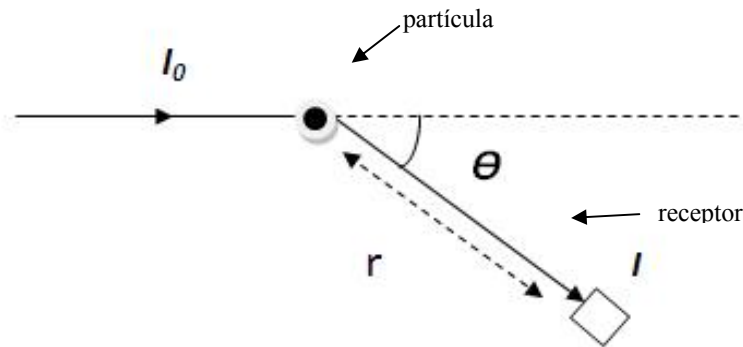


Figura 16 Arranjo experimental básico utilizado em medidas de espalhamento de luz

Desta forma, quando  $\theta = 90^\circ$ , apenas a luz polarizada verticalmente é visível, como mostra a equação 2.10. Pode-se calcular a concentração de uma determinada quantidade de partículas ( $N_p$ ) em suspensão no ar por unidade de volume incidindo a uma determinada intensidade de luz ( $I_0$ ), e medindo-se a intensidade de luminosa espalhada ( $I$ ) (Figura 16), ou seja, considerando o ar como solução e as partículas em suspensão como soluto tem-se:

$$C = \frac{\text{Soluto}}{\text{Solução}} \left( \frac{g}{ml} \right) \quad (2.11)$$

Onde “C” é a medida de concentração dada em (g/ml)

#### 2.4.15 Microcontroladores da família PIC

Os microcontroladores PIC apresentam uma arquitetura de máquina interna do tipo *Havard*, enquanto grande parte dos microcontroladores tradicionais apresentam uma arquitetura do tipo *Von-Neumann*. A diferença está na forma como os dados e o programa são processados pelo microcontrolador, na

arquitetura tradicional, tipo *Von-Neumann*, existe apenas um barramento (bus) interno (geralmente de 8 bits), por onde trafegam as instruções e os dados. Já na arquitetura tipo *Havard* existem dois barramentos internos, sendo um de dados que é sempre de 8 bit 's (para a família 16Fxxx) e o de instruções que pode ser de 12, 14 ou 16 bits, dependendo do microcontrolador.

Esse tipo de arquitetura permite que enquanto uma instrução é executada outra seja "buscada" da memória, o que torna o processamento mais rápido. Além disso o barramento de instruções é maior do que 8 bits, o *OPCODE* da instrução já inclui o dado e o local onde ela vai operar (quando necessário), o que significa que apenas uma posição de memória é utilizada por instrução, economizando assim muita memória de programa.

Podem-se destacar alguns aspectos mais relevantes para este componente, os quais justificam sua escolha:

- a) microcontrolador de 40 pinos, o que possibilita a montagem de um hardware complexo e capaz de interagir com diversos recursos e funções ao mesmo tempo; via de programação com 14 bits e 35 instruções;
- b) 33 portas configuráveis como entrada e saída;
- c) 14 interrupções disponíveis;
- d) memória de programação E<sup>2</sup>PROM FLASH, que permite a gravação rápida do programa diversas vezes no mesmo chip, sem a necessidade de apagá-lo através de luz ultravioleta, como acontece nos microcontroladores com janela de acesso;
- e) memória de programa com 8K words, com capacidade de escrita e leitura pelo próprio código interno;
- f) memória E<sup>2</sup>PROM (não volátil) interna de 256 bytes;
- g) memória RAM com 368 bytes;

- h) três timers (2\*8 bits e 1\*16 bits);
- i) comunicações seriais: SPI, I<sup>2</sup>C e USART;
- j) conversores analógicos de 10 bits;
- k) dois módulos CCP: Capture, Compare e PWM;
- l) programação in-circuit (alta e baixa tensão);
- m) power-on Reset (POR) interno;
- n) Brown-out Reset (BOR) interno.

Outra grande vantagem dos microcontroladores da família PIC da Microchip é a capacidade de fornecimento de corrente (*FAN-OUT*) de seus terminais de saída, possibilitando o acionamento de pequenas cargas ligadas diretamente em seus terminais de saída obedecendo os limites de corrente conforme é descrito a seguir.

#### **Características Elétricas PIC16F877A**

Temperatura de trabalho	-55°C até +125°C
Temperatura de armazenamento	-65°C até 150°C
Tensão de trabalho	4.0V a 5.5V
Tensão máxima no pino Vdd (em relação ao Vss)	-0.3V até 7.5V
Tensão máxima no pino MCRL (em relação ao Vss)	0 até 14V
Tensão máxima no pino RA4 (em relação ao Vss)	0 até 8.5V
Tensão máxima nos demais pinos (em relação ao Vss)	-0.3V até (Vdd + 0.3V)
Dissipação máxima de energia	1W
Corrente máxima de saída no pino Vss	300mA
Corrente máxima de entrada no pino Vdd	250mA
Corrente máxima de entrada no pino (quando em Vss)	25mA
Corrente máxima de saída de um pino (quando em	

Vdd)	25mA
Corrente máxima de entrada do PORTA, PORTB, PORTE combinados	200mA
Corrente máxima de saída do PORTA, PORTB, PORTE combinados	200mA
Corrente máxima de entrada do PORTC, PORTD combinados	200mA
Corrente máxima de saída do PORTC, PORTD combinados	200mA

#### 2.4.16 Porta USB (Universal Serial Bus)

O *USB (Universal Serial Bus)* surgiu em 1995 com uma parceria entre várias companhias de alta tecnologia (Compaq, Hewlett-Packard, Intel, Lucent, Microsoft, NEC e Philips). Uma das primeiras versões foi a 1.0 com velocidade de 1,5Mbps (Low-speed), logo em seguida foi concebida a 1.1 com velocidades que vão de 1,5Mbps a 12Mbps. Essa versão é conhecida com Full-speed. No final de 2000 foi lançada a versão 2.0 (high-speed), compatível com as versões anteriores, mas com alguns aperfeiçoamentos que vão desde a topologia, a velocidade de tráfego de dados, chegando ao extremo de 480Mbps, equivalente a cerca de 60MBps (60 milhões de Bytes por segundos). No sistema USB a tecnologia plug-and-play funciona na sua íntegra; pode-se conectar um dispositivo ao Hub (Figura 17) e o sistema reconhece e carrega os *device drivers* relacionados ao novo dispositivo, sem auxílio do usuário. Podemos conectar e remover dispositivos sem ser preciso reiniciar o computador (Hot-Swap) ou mesmo o sistema operacional.

As primeiras versões do bus *USB* utilizavam/utilizam os Controladores Host *UHCI (Universal Host Controller Interface)* e *OHCI (Open Host*

*Controller Interface*). *USB 2.0* utiliza o Controlador Host *EHCI (Enhanced Host Controller Interface)*. O barramento *USB* permite a conexão máxima de até 127 dispositivos em uma única porta. Para isso ser possível utilizam-se dispositivos chamados de *HUB's* conectados em cascata. Normalmente cada *HUB USB* dispõe de 4 a 8 portas onde podem ser plugados mais *HUB's* ou dispositivos. Os *Hub's* são componentes muito importantes na topologia de uma Rede *USB*. Eles fornecem novos canais físicos para que se possam inserir novos dispositivos à mesma.



Figura17 Mostra um Hub de 7 portas, sua fonte de alimentação e um cabo para conectar ao Host/controlador

Hubs sem fonte de alimentação chegam a ter 4 portas downstream, fornecendo cada uma 100mA. Já Hubs com fontes de alimentação podem fornecer, por porta, 500mA.

Se um dispositivo tentar consumir mais corrente do que o Hub pode fornecer através de uma de suas portas, o mesmo permanecerá conectado fisicamente ao barramento, mas não poderá se comunicar.

Conforme a Figura 18, a porta principal do Hub é chamada de Upstream, e é utilizada para conectá-lo ao Host (placa controladora/PC). As demais portas secundárias são chamadas de Downstream e servem para conectar outros Hubs ou dispositivos (conhecidos também como função).

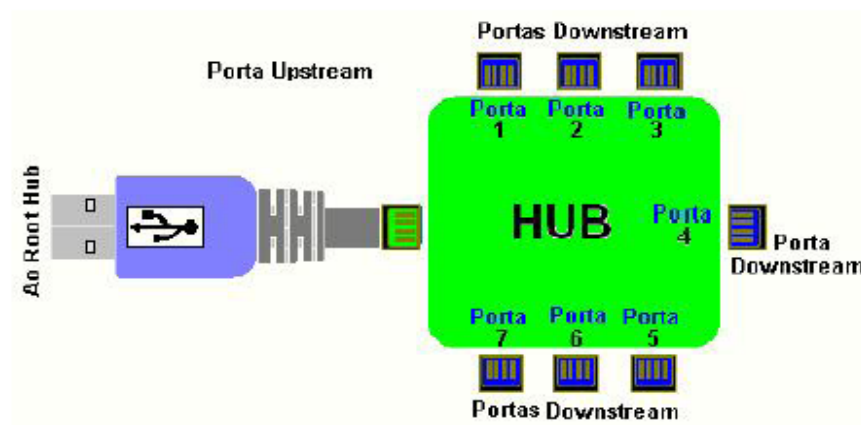


Figura 18 Hub e suas portas: primária e secundárias

É através dos Hubs que o Host/controlador tem o poder de detectar se um dispositivo foi inserido ou removido do sistema, como também saber se o mesmo funcionará em baixa ou alta velocidade. Hubs também fornecem energia através de suas portas Downstream a dispositivos que se alimentam do próprio Bus USB.

Num sistema USB existe apenas um HOST, os demais componentes são os Hubs e os dispositivos (função).

A Figura 19 mostra 5 fileiras contando a partir do Host. Na especificação da norma USB 1.1 recomenda-se que podem enfileirar até 4 dispositivos/Hub após o Root Hub, como mostra a Figura 21 (Hub1, Hub2, Hub3, Hub4 e Node). Já na versão USB 2.0 é possível enfileirar até 6 dispositivos/Hub sem contar o Root Hub. É sempre bom seguir essas regras quando for criar uma rede de dispositivos USB. Também é importante saber que

o comprimento do cabo USB é de 5m, portanto, a distância máxima entre um Hub e um dispositivo/função fica limitada a essa medida.

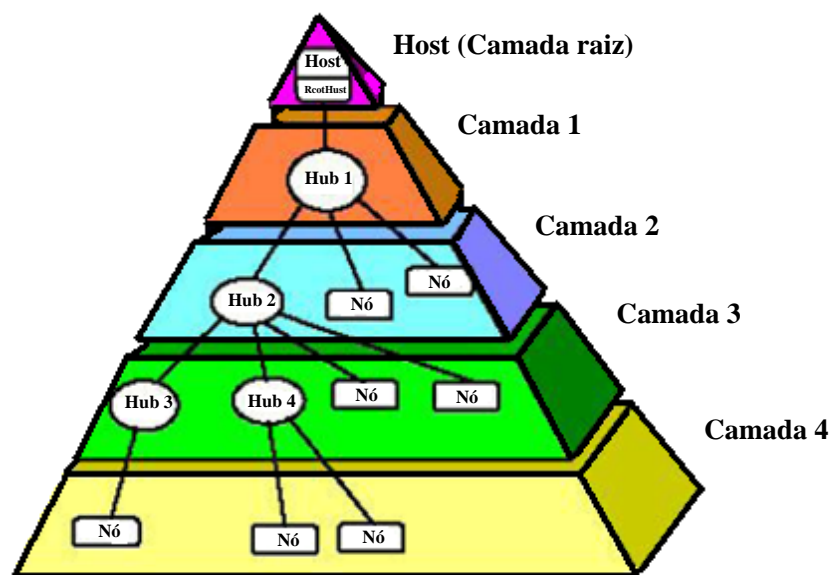


Figura 19 Topologia USB (Estrela em Camadas)

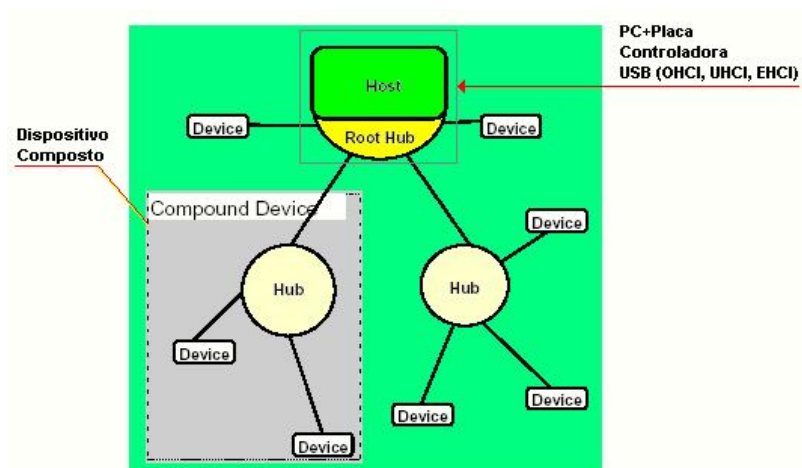


Figura 20 Topologia física



A Figura 20 mostra um padrão da norma USB e o esquema da topologia física. No topo o Controlador Host (HC), mais abaixo o Root Hub ou Hub Raiz. É através das portas do Hub Raiz que se conectam o Hub e dispositivos, formando uma Rede USB como é mostrado na Figura 20, sendo que a combinação de um Hub e um ou mais dispositivos é chamada de Compound Device (dispositivo composto).

Na Figura 21 tem-se somente um Host (hospedeiro), alguns Hub e vários dispositivos/funções pendurados ao sistema, em forma de uma árvore.

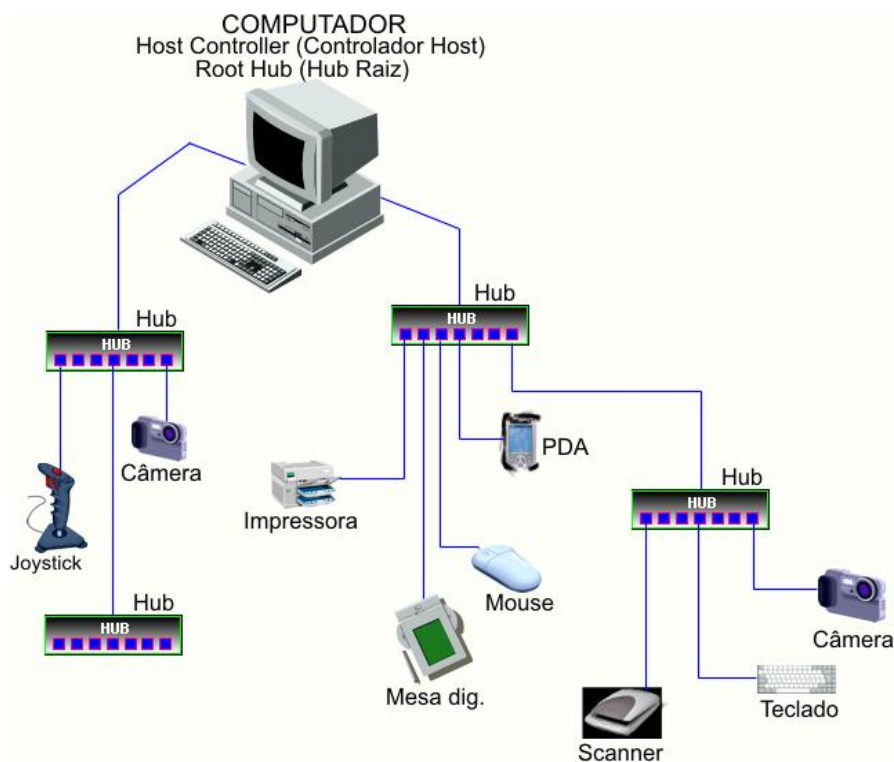


Figura 21 Arquitetura típica para um sistema USB

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho trata do desenvolvimento de um conjunto detector/interface gráfica capaz de detectar, medir e monitorar partículas sedimentáveis em suspensão no ar.

O conjunto detector/interface foi projetado com base no efeito da polarização por espalhamento da luz infravermelha, utilizando-se da teoria eletromagnética clássica de *Espalhamento Rayleigh*.

O projeto do sensor-interface foi dividido em etapas:

- a) funcionamento do Detector;
- b) montagem do Experimento;
- c) projeto da Interface Gráfica;
- d) levantamento da Curva de Resposta do Sensor.

#### 3.1 O detector

##### 3.1.1 Funcionamento do detector

A Figura 22 ilustra o diagrama em blocos do funcionamento do detector de dispersóides. Como pode ser visto, o detector divide-se em vários estágios; cada estágio fica responsável pelo condicionamento dos sinais dos circuitos eletrônicos, conforme é descrito a seguir.

O estágio *Fonte* fica responsável em prover os níveis de tensão adequados ao funcionamento dos circuitos eletrônicos que compõem o detector.

O estágio *"TX IR"* possui um diodo *LED (Diodo Emissor de Luz)* que emite um feixe luminoso operando na faixa do infravermelho e comprimento de onda de  $\lambda = 940 \text{ nm}$ , não polarizado.

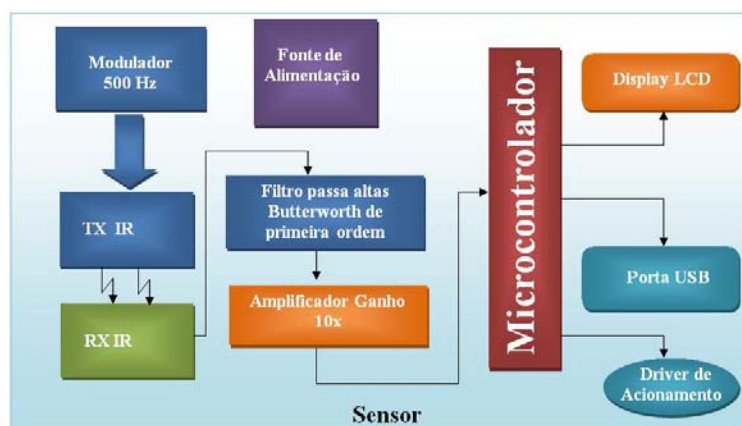


Figura 22 Diagrama em blocos do funcionamento do sensor de dispersóides

A redução da interferência da luz ambiente na medição do sensor foi conseguida criando um estágio "*Modulador*", que gera uma onda senoidal na frequência de 500Hz. Este sinal é obtido a partir de uma onda quadrada gerada internamente no microcontrolador por um circuito *PWM (Modulador por Largura de Pulso)* (Figura 23). Esta onda quadrada é aplicada a um filtro passa baixas de segunda ordem, obtendo-se em sua saída uma onda senoidal, conforme ilustra a Figura 24, que é aplicada como excitação para o estágio "*TX IR*", portanto, tem-se um feixe de luz modulado por uma portadora senoidal. Pode-se concluir que o estágio "*TX IR*" e o estágio modulador operam de forma integrada.

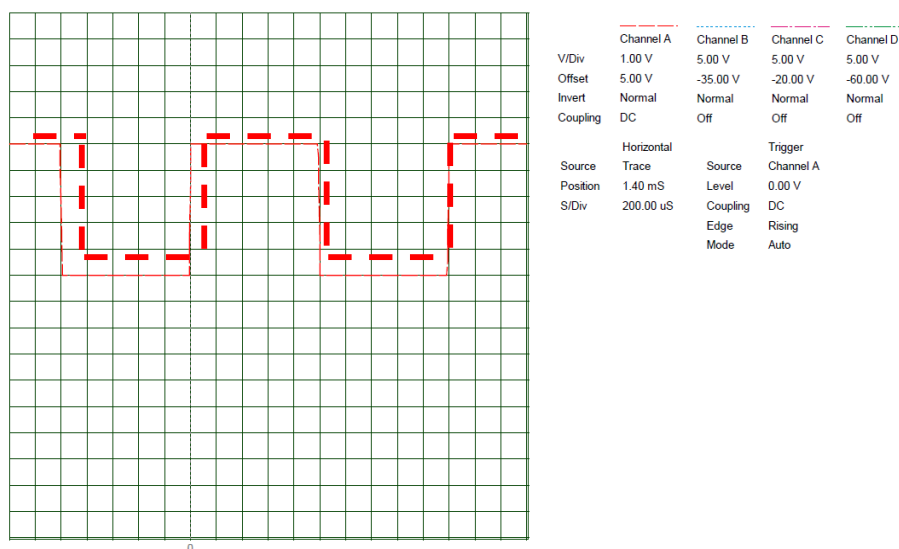


Figura 23 Onda quadrada de 500Hz usada como portadora

Tabela 1 Características elétricas do CI 7805

### Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 10\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.8	5.0	5.2	V
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7\text{V to } 20\text{V}$	4.75	5.0	5.25	
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $V_O = 7\text{V to } 25\text{V}$ $V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	4.0	100	mV
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5.0\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	100	mV
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	0.03	0.5	mA
		$V_I = 7\text{V to } 25\text{V}$	-	0.3	1.3	
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	42	-	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62	73	-	dB
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	15	-	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A

Fonte: O fabricante

O feixe de luz que foi modulado e em seguida transmitido pelo estágio ("TX IR") será recebido pelo próximo estágio ("RX IR") e possui como elemento principal um fototransistor sensível a luz infravermelha; este componente transforma o feixe luminoso recebido em um sinal elétrico. Deste sinal elétrico, uma parcela corresponde à intensidade da luz ambiente (Figura 25) e a outra parcela corresponde ao sinal espalhado pelas partículas em suspensão no ar (Figura 26), ou seja, o sinal recebido será uma somatória da intensidade da luz ambiente e a intensidade do feixe de luz emitido pelo estágio "TX RX", (Figura 27).

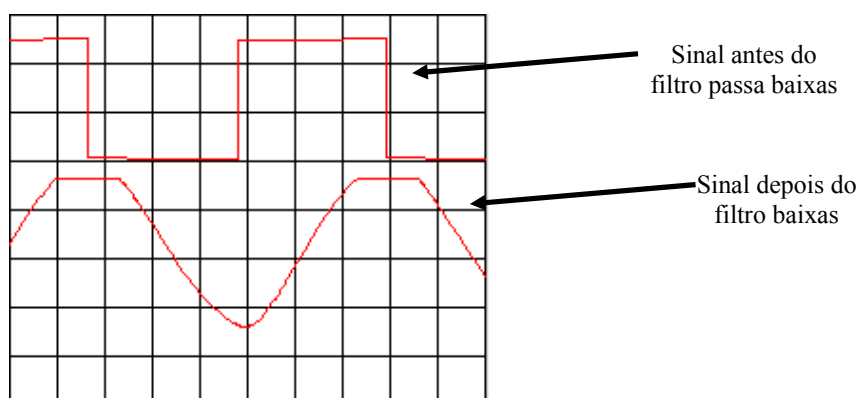


Figura 24 Onda senoidal medida na saída do modulador

Considerando uma janela de tempo pequena, a luz ambiente se comporta como uma componente contínua, ou seja, não há variação de amplitude. Já o feixe de luz emitido pelo estágio ("TX IR") que é modulado por uma frequência de 500Hz, varia em amplitude e é função do número de partículas em suspensão no ar por unidade de volume, conforme mostra a equação 2.10.

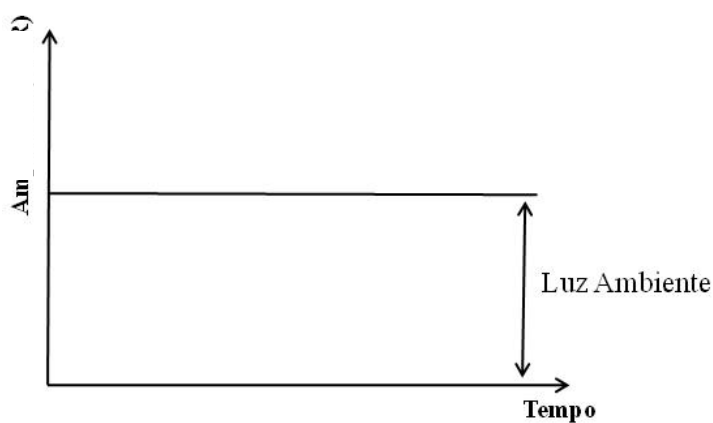


Figura 25 Sinal recebido luz ambiente

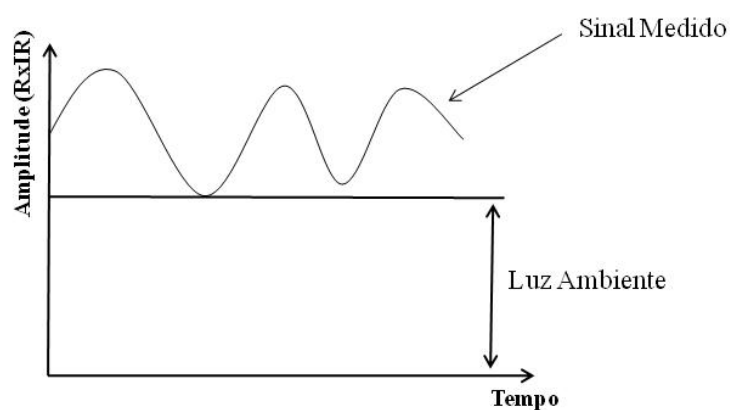


Figura 26 Sinal recebido luz ambiente e o sinal espalhado

Portanto pode-se facilmente, através de um estágio constituído por um filtro passa altas de primeira ordem, separar a parcela do sinal recebido correspondente à luz ambiente da parcela do sinal de luz modulado pelo estágio ("TX IR"), bloqueando o sinal contínuo do sinal modulado variante no tempo, conforme ilustra o diagrama em blocos representado pela Figura 22.

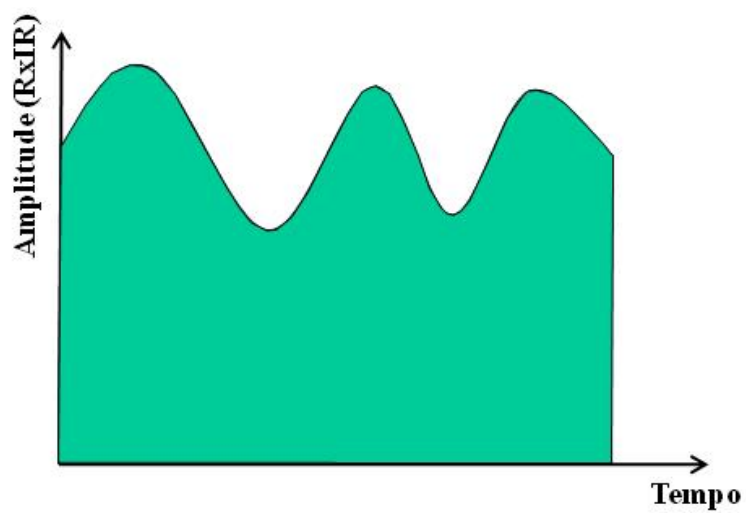


Figura 27 Sinal recebido da luz ambiente somado com o sinal espalhado

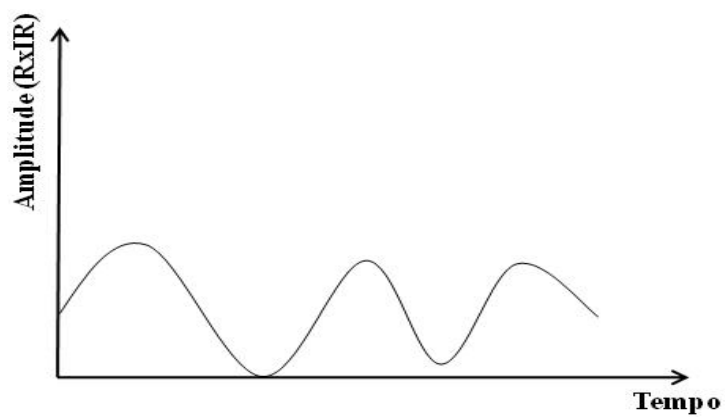


Figura 28 Sinal recebido depois do filtro passa altas

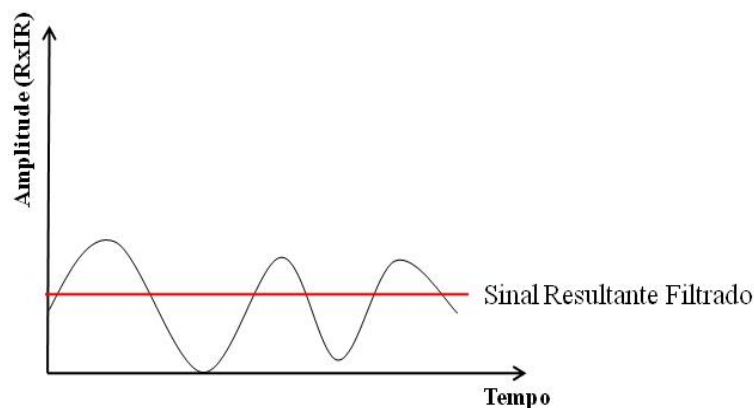


Figura 29 Sinal medido após a saída do filtro RC

O próximo estágio é o microcontrolador; o sinal filtrado é aplicado em um canal analógico que faz a leitura e interpretação dos sinais condicionados pelos circuitos anteriores, controlando também a comunicação com outros periféricos, como um display LCD (Display de Cristal Líquido) a comunicação *USB (Universal Serial Bus)* com a interface gráfica.

O sinal proveniente do estágio “*RXIR*” ao percorrer o filtro passa altas, agora terá presente somente a parcela do sinal elétrico correspondente ao espalhamento das partículas em suspensão no ar, amplificado em dez vezes em amplitude (Figura 22). Aplicando este sinal em um filtro *RC* tem-se como resultado um sinal médio que pode agora ser lido e processado por um microcontrolador. (Figura 22).

Segundo Rebello Júnior (2004), a grande vantagem em se utilizar microcontroladores é que estes componentes eletrônicos chegam a custar muitas vezes menos que um simples semicondutor, um transistor, por exemplo. Estes componentes possuem uma poderosa CPU capaz de processar inúmeras informações de uma memória ou de um periférico, ou mesmo inúmeros cálculos com grande agilidade.



O microcontrolador escolhido para o controle da placa sensora foi o *PIC16F877A* fabricado pela Microchip que é um componente montado com 40 pinos, conforme ilustra a Figura 30; é bastante poderoso, com diversos periféricos já integrados no próprio componente, simplificando bastante a arquitetura de hardware da placa controladora.

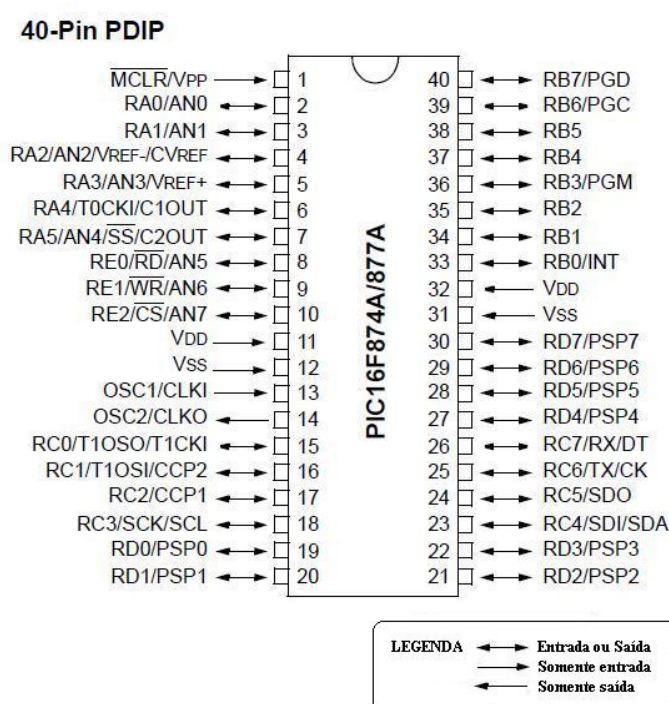


Figura 30 Disposição dos pinos do PIC16F877A

O microcontrolador PIC16F877A possui oito canais analógicos com 10 bits de resolução e é capaz de realizar a leitura de um sinal analógico e convertê-lo em um sinal digital, podendo, a partir destes valores numéricos, realizar os cálculos necessários e o controle dos periféricos como o *PWM*, USART, LCD etc.

A Placa controladora se conecta a uma placa sensora auxiliar através de um cabo *UTP* (*cabo de rede par trançado*) e conectores RJ45. A placa sensora é composta basicamente por um fotodiodo e um fototransistor, facilitando a sua fixação no ambiente a ser monitorado (Figura 31).

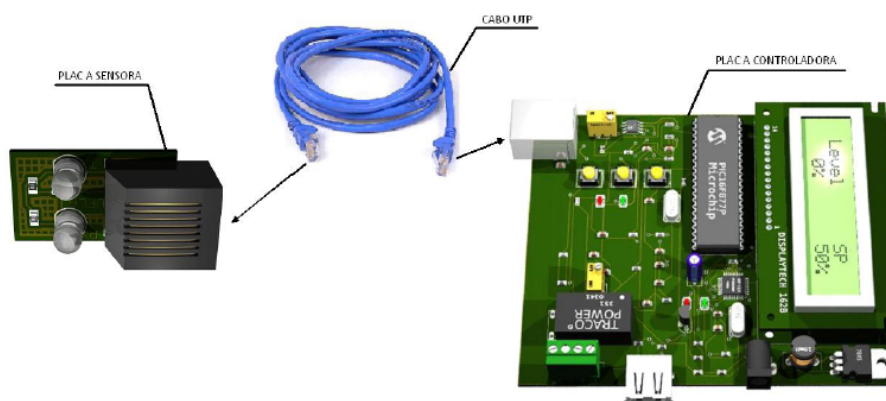


Figura 31 Conexão placa controladora e a placa sensora

Um programa que está armazenado na memória de programa do microcontrolador será executado conforme fluxograma representado na Figura 39. Pode-se notar os ajustes de *zero* e *spam* presentes; estes ajustes em conjunto permitem a calibração da placa sensora para diversos níveis de particulados, possibilitando seu trabalho em ambientes com características específicas, como o funcionamento em ambientes internos ou externos.

Como o ajuste é digital, bastando apenas acionar dois botões (Figura 32), um para o ajuste de *zero* e outro para o ajuste do *spam*, este procedimento fica bastante simplificado, dispensando o uso de ferramentas específicas como chaves de fendas ou ajustes em potenciômetros.

A placa sensora permite a indicação local do sinal recebido através de um LCD (*Display de Cristal Líquido*) bem como a visualização do valor do

*Set Point*, conforme ilustra a Figura 33. Ao mesmo tempo, estes dados são disponibilizados para uma interface serial do tipo *USB (Universal Serial Bus)*, o que permite a conexão remota com uma interface gráfica, permitindo a visualização do nível do particulado e do ajuste do valor desejado (*Set Point*), através de um PC conectado à interface USB da placa controladora.

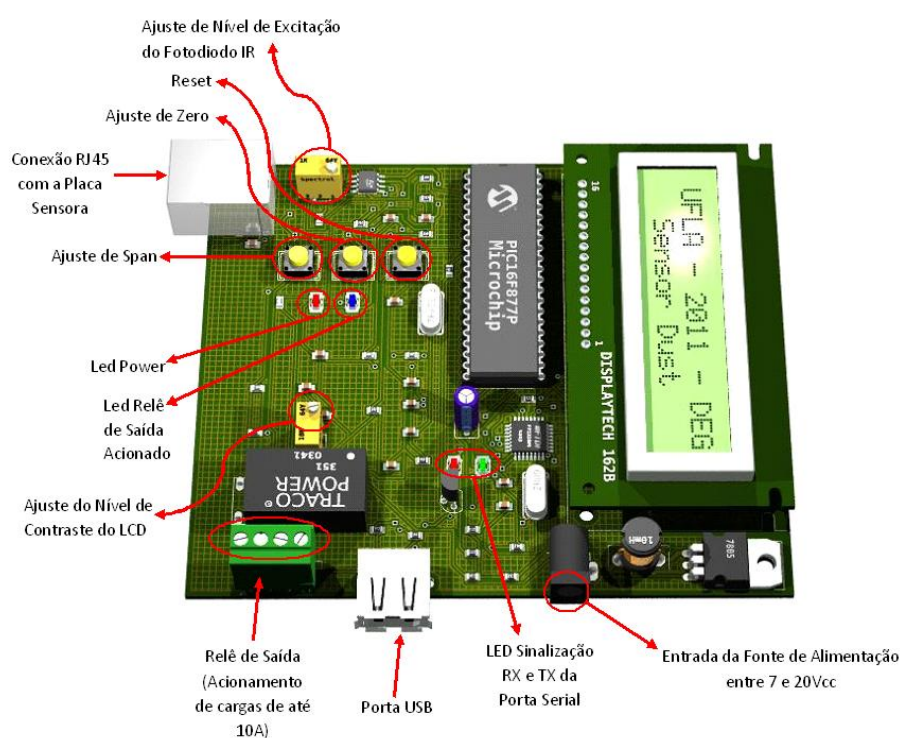


Figura 32 Placa controladora principal

Como o microcontrolador 16F877A não possui uma interface USB integrada foi adicionado um circuito que converte o protocolo de comunicação serial da USART para o protocolo USB.

O circuito que é mostrado na Figura 34 tem como elemento principal o circuito integrado FT232M. Basicamente este circuito integrado é capaz de

converter os sinais provenientes da *USART (comunicação serial)* do microcontrolador *16F877A* para o protocolo *USB*, permitindo assim a comunicação serial entre a placa controladora e um *PC*, que receberá os dados atualizando a interface gráfica, conforme ilustra a Figura 35, e permitindo a visualização remota das variáveis lidas do sensor e o ajuste do valor de *Set Point*.

O sinal medido é comparado com o valor ajustado como *Set Point*; caso ele seja maior um relê é ativado permitindo o acionamento de cargas externas como, por exemplo, um motor de um ventilador ou um aspersor, que poderá ser utilizado para o controle do nível de particulados no ambiente a ser monitorado, conforme ilustra o diagrama de blocos da Figura 22.

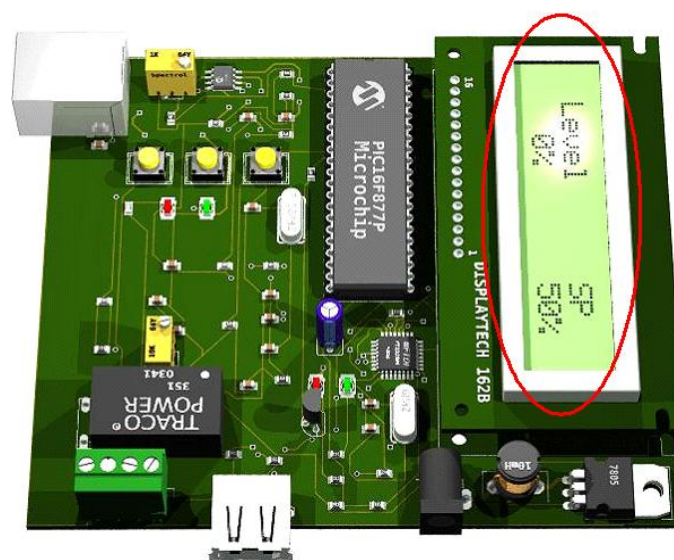


Figura 33 Placa controladora principal

A Figura 40 ilustra o fluxograma de funcionamento do software da interface gráfica. Este software foi desenvolvido no *Microsoft Visual C 2008 Express Edition*, sendo esta versão de uso livre e ficando somente restrito à

venda de seu código compilado. A linguagem *C#* ou *C Sharp* foi desenvolvida pela Microsoft para competir com a linguagem Java.

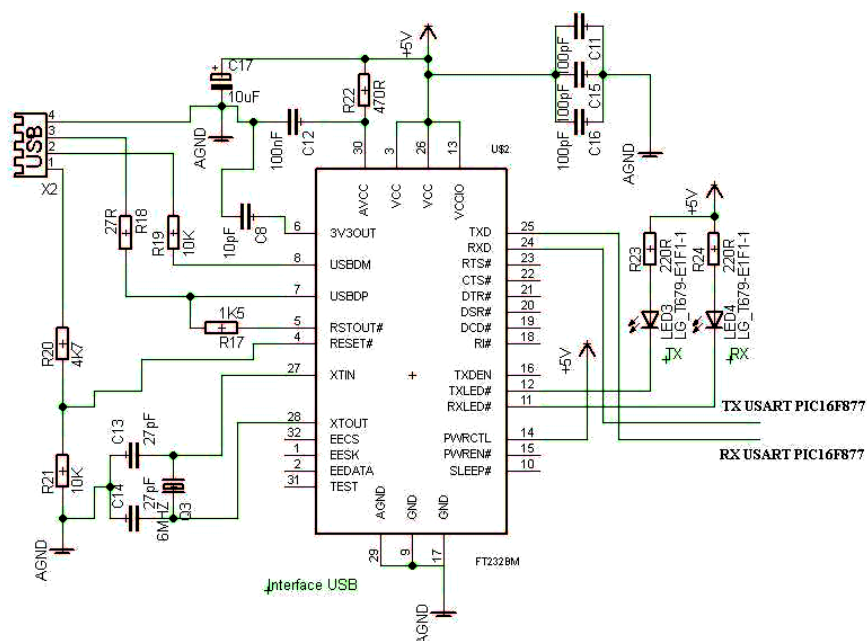


Figura 34 Interface USB

Fonte: FTDI – Future Technology Devices International Ltd.

A linguagem *C* é orientada a objeto baseada nas linguagens *C/C++*, *Java*, e possui algumas características do Visual Basic; ela faz parte das linguagens de programação *.Net*.

O *C#* permite a criação de *view 's* com os recursos gráficos da linguagem de programação *.Net*, ganhando em qualidade de apresentação gráfica e melhor resultado final, com bastante simplicidade no código além de possuir uma ampla variedade de bibliotecas disponíveis.

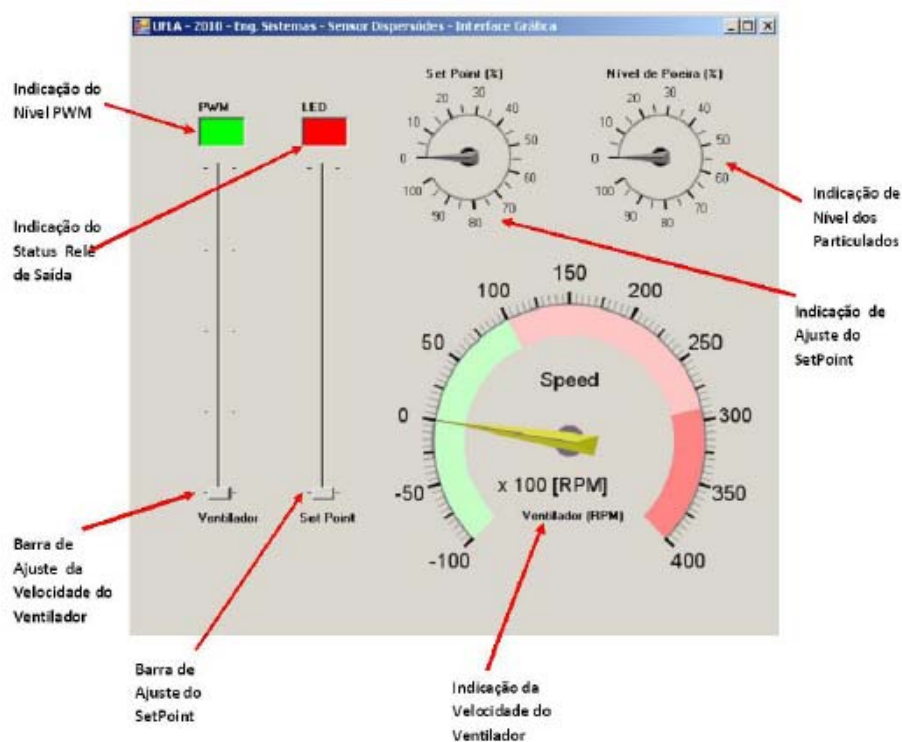


Figura 35 Interface gráfica

### 3.2 Montagem do experimento

O experimento foi montado visando a simulação de um ambiente com particulados em suspensão, onde pudesse controlar a concentração de partículas no ar.

Um tubo de PVC foi usado com um volume total de 6,308L montado com um visor de vidro acoplado, fechado em uma de suas extremidades e um ventilador montado na outra extremidade, conforme ilustram as Figuras 36 e 37.



Figura 36 Visão frontal do tubo de PVC



Figura 37 Vista inferior do tubo de PVC

Uma balança analítica modelo mark 250A precisão em 250/0,0001 foi usada para pesar as amostras (Figura 38).



Figura 38 Balança analítica

O sensor acoplado ao visor de vidro permite que os raios infravermelhos atinjam os particulados em suspensão no ambiente interno ao tubo, permitindo ao receptor receber a luz espalhada pelas partículas em suspensão, conforme ilustra a Figura 39.



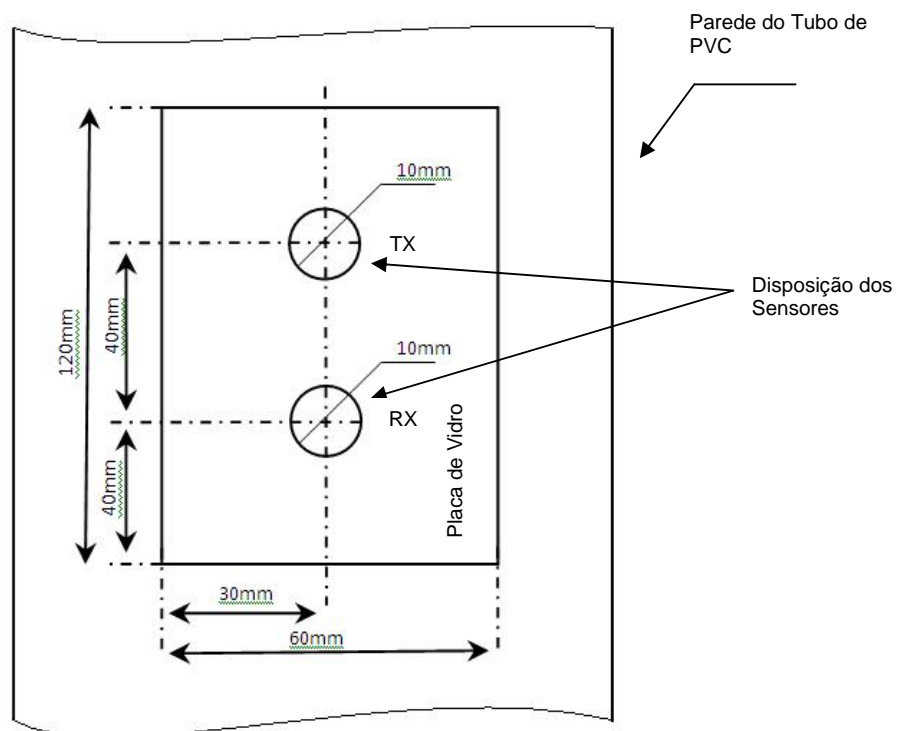


Figura 39 Vista do sensor acoplado ao visor do tubo de PVC

O ventilador acoplado à base do tubo causa uma corrente de ar ascendente, arrastando as partículas que estavam antes em repouso no fundo do tubo de PVC misturando-se ao ar confinado dentro do tubo. Para o experimento manteve-se a velocidade fixa do ventilador em 2800RPM, e foi adicionando amido em pó, conforme Tabela 2, e pó de madeira, conforme Tabela 3.

Tabela 2 Concentração de pó de amido no ar

<b>Amostras</b>	<b>Soluto(mg)</b>	<b>Solução(L)</b>	<b>Concentração(mg/L)</b>	<b>Ventilador (RPM)</b>
1	0	6,308	0,0	2800
2	1	6,308	0,16	2800
3	2	6,308	0,32	2800
4	3	6,308	0,48	2800
5	4	6,308	0,63	2800
6	5	6,308	0,79	2800
7	6	6,308	0,95	2800
8	7	6,308	1,11	2800
9	8	6,308	1,27	2800
10	9	6,308	1,43	2800
11	10	6,308	1,59	2800
12	11	6,308	1,74	2800
13	12	6,308	1,90	2800
14	13	6,308	2,06	2800
15	14	6,308	2,22	2800
16	15	6,308	2,38	2800
17	16	6,308	2,54	2800
18	17	6,308	2,69	2800

Tabela 3 Concentração de pó de madeira no ar

<b>Amostras</b>	<b>Soluto(mg)</b>	<b>Solução(L)</b>	<b>Concentração(mg/L)</b>	<b>Ventilador (RPM)</b>
1	0	6,308	0,0	2800
2	1	6,308	0,16	2800
3	2	6,308	0,32	2800
4	3	6,308	0,48	2800
5	4	6,308	0,63	2800
6	5	6,308	0,79	2800
7	6	6,308	0,95	2800
8	7	6,308	1,11	2800
9	8	6,308	1,27	2800
10	9	6,308	1,43	2800
11	10	6,308	1,59	2800
12	11	6,308	1,74	2800
13	12	6,308	1,90	2800
14	13	6,308	2,06	2800
15	14	6,308	2,22	2800
16	15	6,308	2,38	2800
17	16	6,308	2,54	2800
18	17	6,308	2,69	2800

O sinal captado do sensor é enviado para a placa controladora que condicionará os sinais recebidos do sensor e realizará a indicação local do nível de particulados conforme ilustra a Figura 40.

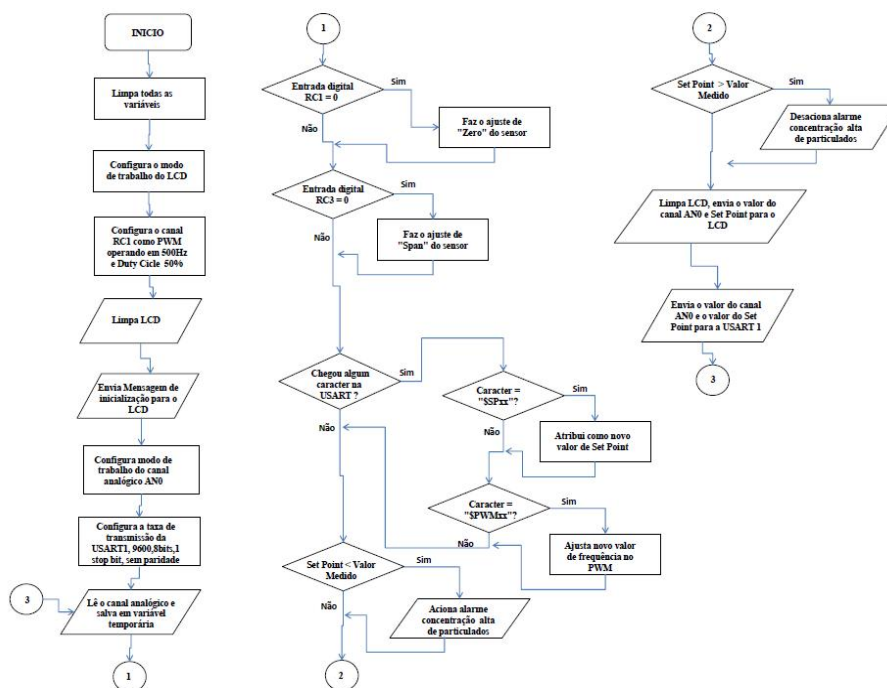


Figura 40 Fluxograma do funcionamento software do PIC

Um computador *PC* recebe os dados replicados da porta *USB* da placa controladora que serão indicados em uma interface gráfica, conforme ilustra a Figura 41.

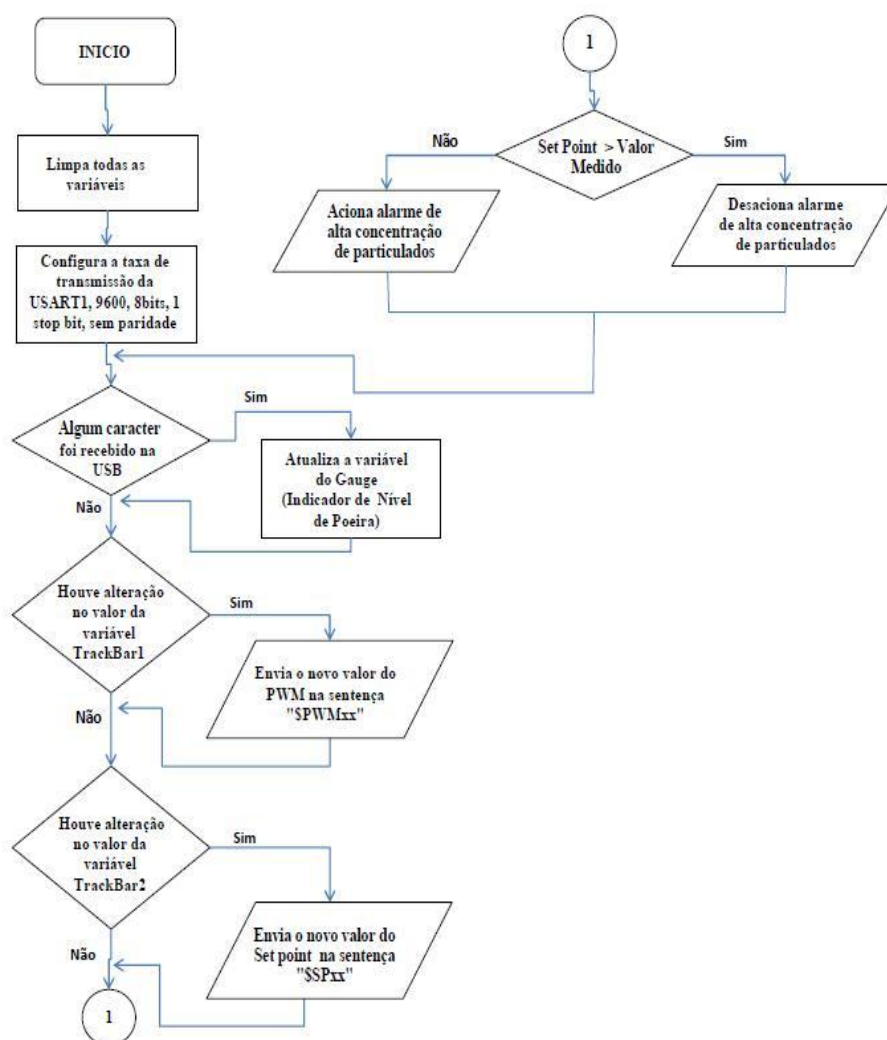


Figura 41 Fluxograma de funcionamento do software da interface gráfica

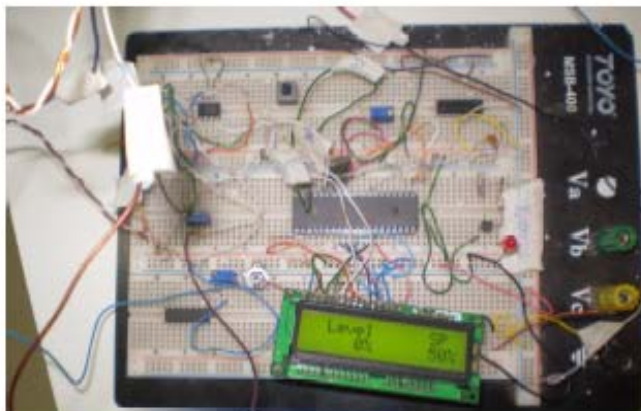


Figura 42 Montagem do sensor em Protoboard



Figura 43 Interface gráfica em funcionamento

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o levantamento da curva de resposta do sensor utilizou-se de um multímetro *Fluke*, modelo *Fluke 83 V DMM*, e mediu-se a saída do sensor no ponto indicado na Figura 44. Obteve-se como resposta uma tensão conforme ilustram as Tabelas 4 e 5.

Para o experimento utilizaram-se dois tipos de materias como soluto (amido em pó e pó de madeira); usando uma balança analítica foram pesadas 18 amostras com passos de 1 grama para cada material utilizado, ou seja, foram geradas dezoito amostras de amido em pó e dezoito amostras para o pó de madeira. Em seguida tudo foi adicionado à solução (ar interno do tubo de PVC) conforme Tabelas 4 e 5.

Acionado o ventilador da base do tubo a uma rotação de 2800 RPM, aguardou-se um tempo de 30s para a homogenização soluto/solução e, assim, foram iniciadas as medidas de tensão na saída do sensor (Figura 44), adicionando cada amostra na sequência, conforme Tabelas 4 e 5.

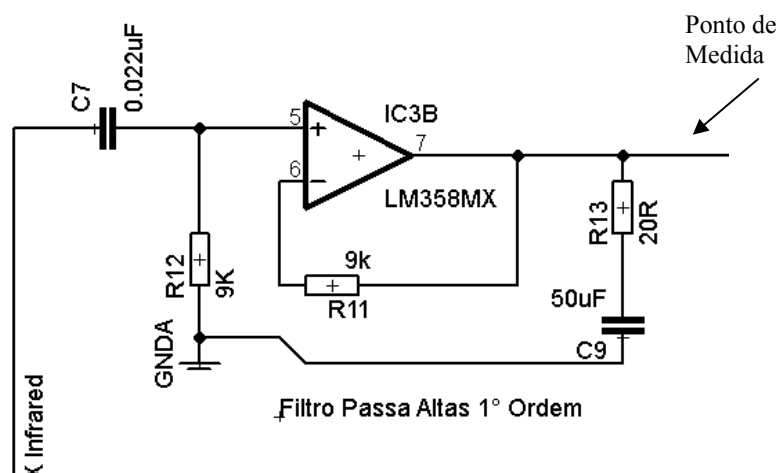


Figura 44 Ponto de medida sensor

Percebe-se através do gráfico (Figuras 45 e 46) uma resposta satisfatória ao longo de toda a faixa de medição do detector para os dois cenários (medição utilizando amido em pó e pó de madeira). Considerando uma faixa de medição da concentração entre 0 e 2,69 mg/L foi medida uma faixa de tensão gerada no detector entre 0,173V a 0,239V para o amido em pó como soluto. Utilizando-se o pó de madeira obteve-se valor em tensão variando entre 0,486V a 0,509V.

Nota-se que para o valor de zero de concentração já existe um valor residual de tensão de 0,173V e 0,486V para a medição do amido em pó e a de pó de madeira, respectivamente. Isto pode ser explicado por não haver correção de off set dos amplificadores operacionais no circuito eletrônico, porém como existe a calibração digital (via software), que é realizada internamente no microcontrolador, estes valores são compensados sem interferência na precisão da medição.

Pôde-se notar uma diferença nos valores de tensão gerados na saída do sensor entre valores medidos, conforme Tabelas 4 e 5; isto pode ser explicado considerando a cor dos materiais analisados. No caso do amido em pó de cor mais clara, este possui uma melhor reflexão do sinal luminoso, portanto necessitando menor ganho dos amplificadores operacionais, enquanto as medidas com pó de madeira, de cor mais escura, oferecem menor reflexão do sinal luminoso, necessitando maior amplificação do sinal elétrico gerado na saída do receptor "RXIR", resultando em uma faixa de valores maiores de saída.



Tabela 4 Concentração de pó de amido no ar

<b>Amostras</b>	<b>Soluto (mg)</b>	<b>Solução (L)</b>	<b>Concentração (mg/L)</b>	<b>Ventilador (RPM)</b>	<b>Tensão de Saída do Sensor(V)</b>
1	0	6,308	0,0	2800	0,173
2	1	6,308	0,16	2800	0,178
3	2	6,308	0,32	2800	0,18
4	3	6,308	0,48	2800	0,182
5	4	6,308	0,63	2800	0,183
6	5	6,308	0,79	2800	0,185
7	6	6,308	0,95	2800	0,187
8	7	6,308	1,11	2800	0,189
9	8	6,308	1,27	2800	0,195
10	9	6,308	1,43	2800	0,203
11	10	6,308	1,59	2800	0,206
12	11	6,308	1,74	2800	0,208
13	12	6,308	1,90	2800	0,21
14	13	6,308	2,06	2800	0,212
15	14	6,308	2,22	2800	0,214
16	15	6,308	2,38	2800	0,218
17	16	6,308	2,54	2800	0,228
18	17	6,308	2,69	2800	0,239

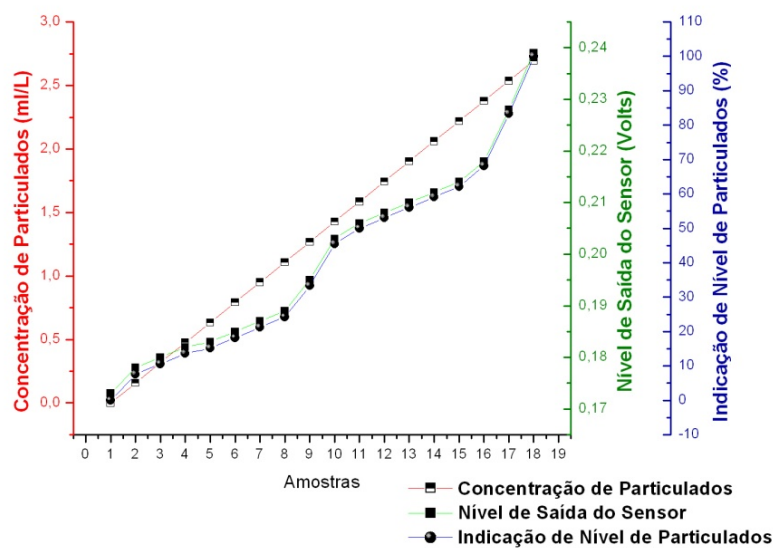


Figura 45 Curva de resposta da saída do sensor de dispersóides com amido em pó

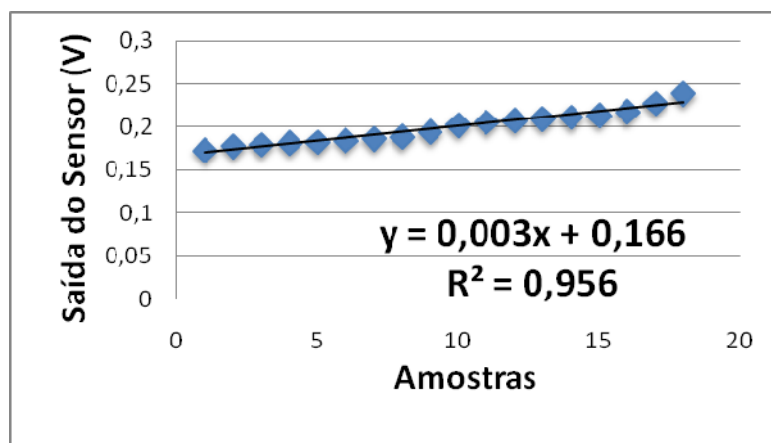


Figura 46 Gráfico da Regressão Linear Amostras de Amido em Pó

Tabela 5 Concentração de pó de amido no ar

Amostras	Soluto (mg)	Solução (L)	Concentração (mg/L)	Ventilador (RPM)	Tensão de Saída do Sensor (V)
1	0	6,308	0,0	2800	0,486
2	1	6,308	0,16	2800	0,488
3	2	6,308	0,32	2800	0,489
4	3	6,308	0,48	2800	0,49
5	4	6,308	0,63	2800	0,492
6	5	6,308	0,79	2800	0,493
7	6	6,308	0,95	2800	0,494
8	7	6,308	1,11	2800	0,495
9	8	6,308	1,27	2800	0,496
10	9	6,308	1,43	2800	0,497
11	10	6,308	1,59	2800	0,498
12	11	6,308	1,74	2800	0,499
13	12	6,308	1,90	2800	0,501
14	13	6,308	2,06	2800	0,503
15	14	6,308	2,22	2800	0,504
16	15	6,308	2,38	2800	0,506
17	16	6,308	2,54	2800	0,507
18	17	6,308	2,69	2800	0,509

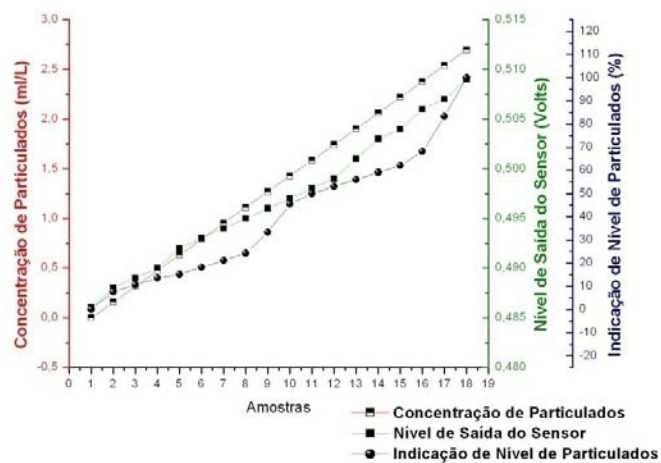


Figura 47 Curva de resposta da saída do sensor de dispersóides com madeira em pó

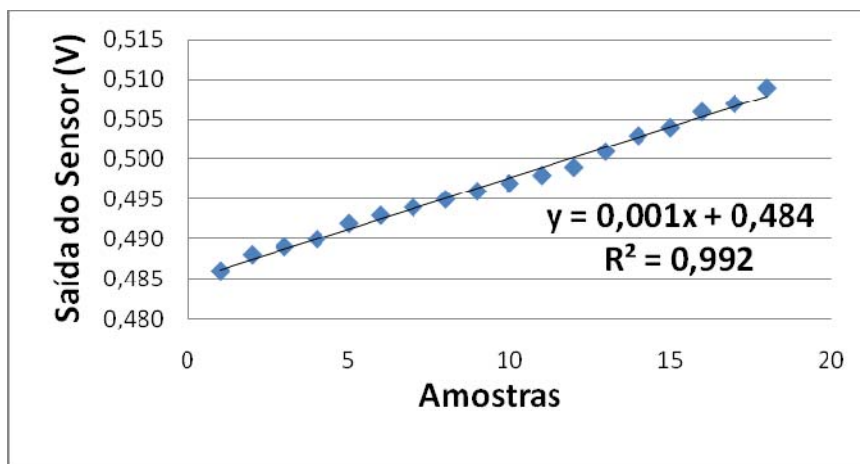


Figura 48 Gráfico da Regressão Linear Amostras Pó de Madeira

## 5 CONCLUSÃO

Foi possível a construção de um detector capaz de medir, detectar e monitorar a concentração de partículas em suspensão no ar usando o efeito de espalhamento da luz com bastante rapidez e um consumo de energia bem baixo, podendo desenvolver um equipamento portátil alimentado por baterias se comparados com outros métodos de medição, como o pote de sedimentação e a medição utilizando filtros.

Como é mostrado nas figuras dos gráficos 46 e 48 a curva de saída do detector se mostra bastante linear para cada amostra de pó de madeira e amido.

O desenvolvimento de uma interface gráfica permitiu o acesso a mudança de parâmetros como o *Set Point* e a visualização da concentração de particulados em suspensão no ambiente de forma interativa, através de um computador pessoal, simplificando sua operação.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12065**:atmosfera: determinação da taxa de poeira sedimentável total: método de ensaio.Rio de Janeiro, 1991.6 p.
- BAKONYI, S. M. C. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba.**Revista de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 5, p. 695-700, set./out. 2010.
- FONCECA, F. Os efeitos da mineração sobre o meio ambiente.**Brasil Mineral**, São Paulo, v. 7, p. 74-80,1989.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: eletromagnetismo**.Rio de Janeiro: LTC, 2009. 395 p.
- IRRICOM. **Mineração**. Disponível em:<<http://www.irricom.com.br/mineracao.php>>. Acesso em: 20 mar. 2011.
- MACEDO, H.; TIPLER, P. A. **Física para cientistas e engenheiros: eletricidade e magnetismo, ótica**.Rio de Janeiro: LTC, 2000. 530 p.
- MANFRED, W. **Segurança e saúde em minas de superfície de pequeno porte**. Brasília: Organização Internacional do Trabalho, 2003. 51 p.
- MENDES, R. **Patologia do trabalho**. Belo Horizonte: Atheneu, 1997. 1924 p.

OLIVEIRA, M. D.; MORAIS, T. N.; SPALA, P. R. Avaliação da influência das atividades da construção civil na emissão de material particulado sedimentável em Jardim Camburi,ES. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 31.,2008, Santiago. **Anales...** Santiago: Universidad del Santiago, 2008. Disponível em:<<http://documentos.aidis.cl/Trabajos%20Poster/Tema%20VIII%20-%20Calidad%20del%20Aire/VIII-Dutra-Brasil-l.doc>>. Acesso em: 10 fev. 2011.

PECORA, R. **Dynamic light scattering:** applications of photon correlation spectroscopy. New York:Plenum,1985. 305 p.

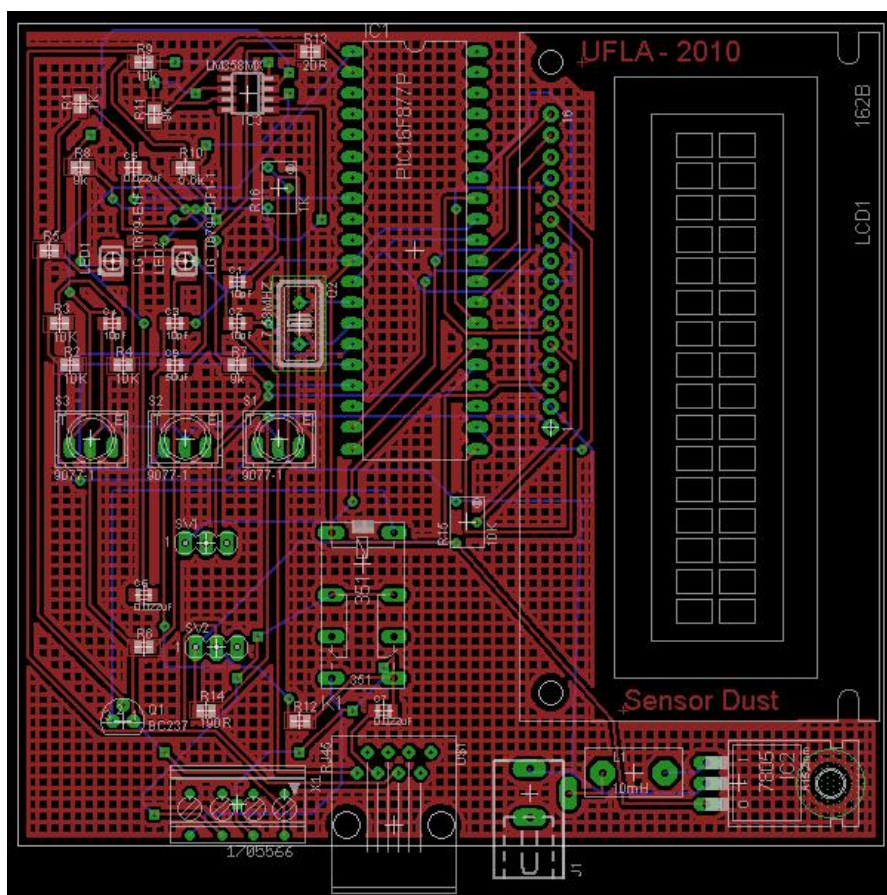
RANGEL, E. As normas brasileiras sobre instalações elétricas em atmosferas explosivas.In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA ELÉTRICA NA SEGURANÇA DO TRABALHO, 3., 2007, Rio de Janeiro. **Anais...**Rio de Janeiro: ESW Brasil, 2007. p. 108.

REBELLO JÚNIOR, C. J. **Sistema de aquisição de dados agrometeorológicos baseado no microcontrolador "BASIC Step"**.Lavras: UFLA, 2004. 53 p.

SÁ, A. de. Efeito devastador, sobre explosões em locais onde existe muita poeira acumulada.**Revista Proteção**, Novo Hamburgo,n. 181, p. 63-70, jan. 2007.

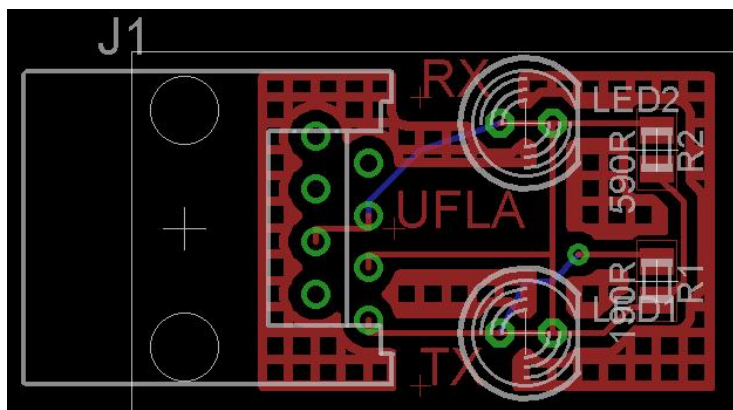
## ANEXOS

Anexo1 – Layout da Placa de Circuito Impresso Controladora



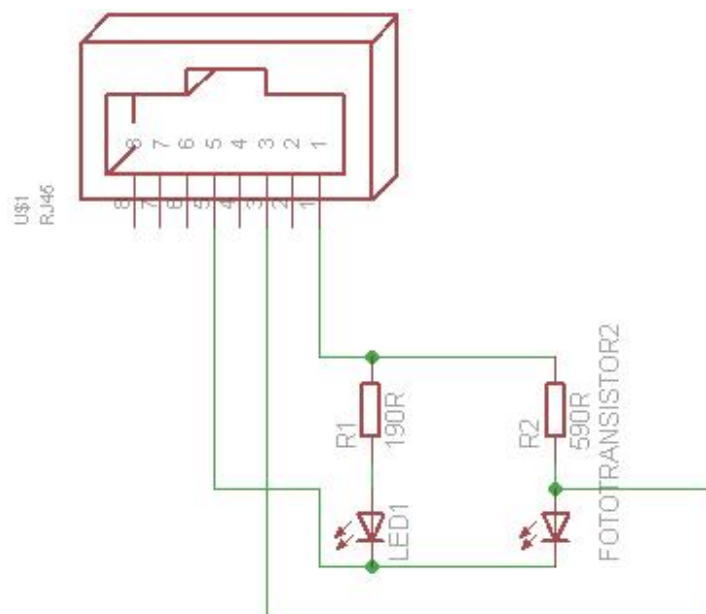


## Anexo 2 – Layout da Placa de Circuito Impresso do Sensor





## Anexo 4 – Diagrama Eletrônico da Placa Auxiliar Sensora



## Anexo 5 – Software Placa Controladora

```

////////////////////////////////////
// Sensor Dust
// Autor: Carlos A. Rufino
// Versão 1.0
// UFLA 2010
// Compilador MickoC ver.3.0
////////////////////////////////////
// LCD module connections
sbit LCD_RS at RB0_bit;
sbit LCD_EN at RB1_bit;
sbit LCD_D4 at RD4_bit;
sbit LCD_D5 at RD5_bit;
sbit LCD_D6 at RD6_bit;
sbit LCD_D7 at RD7_bit;
sbit LCD_RS_Direction at TRISB0_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISB1_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;
// End LCD module connections
char texto[20],texto_1[20],output[20];
char uart_rd;
float valor_AD=0;
int i,o,envia_dados;
float valor_AD_zero=0;
float valor_AD_spam=817;
float valor_AD_resultado=0;
int teste2,valor_AD_sp;
unsigned short current_duty;
const char character[] = {31,31,31,31,31,31,31,31};
const char character1[] = {0,0,0,0,0,0,0};
void CustomChar(char pos_row, char pos_char) {
  char i;
  LCD_Cmd(64);
  if(o==1)
    for (i = 0; i<=7; i++) LCD_Chr_Cp(character[i]);
  if(o==0)
    for (i = 0; i<=7; i++) LCD_Chr_Cp(character1[i]);
  LCD_Cmd(_LCD_RETURN_HOME);
  LCD_Chr(pos_row, pos_char, 0);
}
void Move_Delay() { // Função deslocamento de caracter no LCD
  Delay_ms(100); // Muda deslocamento do Display
}

```

```

}
void main(){ //Função Principal
trisd=0x00; //Configura Port D
trisb=0x00; //Configura Port B
trise=0x00; //Configura Port D
trisa=0x04; //Configura Port A
trisc=251;
PORTE=0; //Reset dos pinos PORT E configurados como saída
PWM1_Init(500); //Configura PWM
current_duty = 200;
PWM1_Start();
PWM1_Set_Duty(current_duty);
Lcd_Init();
Lcd_Cmd(_Lcd_Clear);
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
delay_ms(100);

Lcd_Out(1,4,"UFLA 2010");
Lcd_Out(2,4,"Level Dust");
delay_ms(2000);
i=0;
while(i<3)
{
delay_ms(400);
Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_RIGHT); //Desloca caracter para a direita
i++;
}
i=0;
while(i<6)
{
delay_ms(400);
Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_LEFT); //Desloca caracter para a direita
i++;
}
i=0;
while(i<16)
{
delay_ms(400);
Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_RIGHT); //Desloca caracter para a direita
i++;
} /*
Lcd_Cmd(_Lcd_Clear);
ADCON1=0b10000010; //usa canais analógicos de AN0 até AN14 , Vref=Vdd
ADCON0=0b11010001;
UART1_Init(9600); // Inicializa módulo USART em 9600 bps
Delay_ms(100); // Aguarda estabilização do módulo USART

```

```

do
{
valor_AD=adc_read(0); //Leitura do canal analógico

if(portc.f1==0)
{
valor_AD_zero=valor_AD;
}
valor_AD=valor_AD-valor_AD_zero; //Ajuste de zero
if(portc.f3==0)
valor_AD_spam=valor_AD;
valor_AD_resultado=(valor_AD*100)/valor_AD_spam; //ajuste de span
IntToStr((valor_AD_resultado),texto);
if(portc.f0==0)
valor_AD_sp=valor_AD_resultado;
if (UART1_Data_Ready() == 1) { // se o dado for lido na serial
    UART1_Read_Text(output,"SP",5); // Se os caracteres forem encontrados
}
    UART1_Write_Text(texto); // envia texto
valor_AD_sp=atoi(output);
IntToStr((valor_AD_sp),output);
Lcd_Out(1,4,"Level");
Lcd_Out(1,13,"SP");
Lcd_Out(2,7,"%");
Lcd_Out(2,15,"%");
Lcd_out(2,1,texto);
Lcd_Out(2,9,output);
if((valor_AD_resultado)>=valor_AD_sp)
PORTE.F0=1; //Aciona relê externo se nível de poeira alto
if((valor_AD_resultado)<valor_AD_sp)
PORTE.F0=0; //Desaciona relê externo se nível abaixo do setpoint
delay_us(10);
}
while(1); //loop infinito
}

```

## Anexo 6 – Software Interface Gráfica

```

/* *****
*Interface Gráfica Sensor de Dispersóides      *
*  UFLA - Engenharia de Sistemas - 2010      *
*  Autor: Mestrando Carlos Antonio Rufino    *
*  Versão 2.3 - Compilador C# Sharp          *
* *****/

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

namespace AGaugeApp
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void aGauge1_ValueInRangeChanged(object sender,
AGauge.ValueInRangeChangedEventArgs e)
        {
        }

        private void aGauge2_ValueInRangeChanged(object sender,
AGauge.ValueInRangeChangedEventArgs e)
        {
            if (e.valueInRange == 0)
            {
                pictureBox1.BackColor = Color.LightGreen;
            }

            if (e.valueInRange == 1)
            {
                pictureBox1.BackColor = Color.Coral;
            }
        }
    }
}

```

```
if (e.valueInRange == 2)
{
    pictureBox1.BackColor = Color.Red;
}
/*else
{
    pictureBox1.BackColor = Color.Red;
}*/
}

private void trackBar1_ValueChanged(object sender, EventArgs e)
{
    aGauge1.Value = trackBar1.Value;
    aGauge2.Value = trackBar1.Value;
    textBox1.Text = aGauge1.Value.ToString();
}

private void timer1_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    aGauge3.Value += 0.5f;
    aGauge4.Value += 10;

    if (aGauge3.Value >= 50)
    {
        aGauge3.Value = 0;
    }

    if (aGauge4.Value >= 300)
    {
        aGauge4.Value = -300;
    }

    aGauge5.Value = aGauge3.Value;
    aGauge6.Value = (Single)(((Int32)aGauge6.Value + 49) % 50);
    aGauge7.Value = (Single)(((Int32)aGauge7.Value + 49) % 50);
    aGauge8.Value = (Single)(((Int32)aGauge8.Value + 51) % 50);
    aGauge11.Value = (Single)(((Int32)aGauge11.Value + 9) % 10);
    aGauge9.Value = (Single)(((Int32)aGauge9.Value + 99) % 100);
    aGauge10.Value = (Single)(((Int32)aGauge10.Value + 99) % 100);

}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
```



```
{
  if (aGauge1.NeedleType == 0)
  {
    aGauge1.NeedleType = 1;
  }
  else
  {
    aGauge1.NeedleType = 0;
  }
  if (aGauge2.NeedleType == 0)
  {
    aGauge2.NeedleType = 1;
  }
  else
  {
    aGauge2.NeedleType = 0;
  }

  if (aGauge3.NeedleType == 0)
  {
    aGauge3.NeedleType = 1;
  }
  else
  {
    aGauge3.NeedleType = 0;
  }

  if (aGauge4.NeedleType == 0)
  {
    aGauge4.NeedleType = 1;
  }
  else
  {
    aGauge4.NeedleType = 0;
  }

  if (aGauge5.NeedleType == 0)
  {
    aGauge5.NeedleType = 1;
  }
  else
  {
    aGauge5.NeedleType = 0;
  }
}
```

```
private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)
{
    serialPort1.Open();
}

private void Form1_FormClosed(object sender, FormClosedEventArgs e)
{
    serialPort1.Close();
}

private void trackBar2_Scroll(object sender, EventArgs e)
{
    aGauge13.Value = trackBar2.Value;
    textBox3.Text = Convert.ToString(aGauge13.Value);
}

private void pictureBox1_Click(object sender, EventArgs e)
{
}

private void aGauge13_ValueInRangeChanged(object sender,
AGauge.ValueInRangeChangedEventArgs e)
{
}

private void trackBar1_Scroll(object sender, EventArgs e)
{
    //string envia_dados = Convert.ToString(aGauge2.Value);
    //serialPort1.Write( envia_dados+"PWM");
}

private void timer2_Tick(object sender, EventArgs e)
{
    string dado_serial;
    dado_serial = serialPort1.ReadExisting();
    if (dado_serial != "")
        //dado_serial = dado_serial.Substring(3, 3
    textBox4.Text = dado_serial;
    dado_serial=dado_serial.Trim().Trim(char.Parse("#"));
}
```

```
string[] num = new string[10] { "0", "1", "2", "3", "4", "5", "6", "7", "8", "9" };
    foreach (string numerico in num)
    {
        if (dado_serial.Contains(numerico))
        {
            if (dado_serial != "")
            {
                int valor_conv = int.Parse(dado_serial);
                aGauge12.Value = valor_conv;

                }
            if (aGauge12.Value < aGauge13.Value)
            {
                pictureBox2.BackColor = Color.Black;
            }
            else
            {
                pictureBox2.BackColor = Color.Red;
            }
        }
    }

    private void serialPort1_DataReceived(object sender,
    System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventArgs e)
    {
    }

    private void aGauge12_ValueInRangeChanged(object sender,
    AGauge.ValueInRangeChangedEventArgs e)
    {
    }

    private void label8_Click(object sender, EventArgs e)
    {
    }

    private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
    {
    }
```

```
    }  
  
    private void timer3_Tick(object sender, EventArgs e)  
    {  
  
        string teste_box;  
        teste_box = textBox3.Text.ToString();  
        serialPort1.Write(teste_box);  
  
        timer4.Enabled = true;  
  
    }  
  
    private void timer4_Tick(object sender, EventArgs e)  
    {  
        serialPort1.Write("SP");  
        timer4.Enabled = false;  
    }  
    private void textBox2_TextChanged(object sender, EventArgs e)  
    {  
  
    }  
    }  
}
```