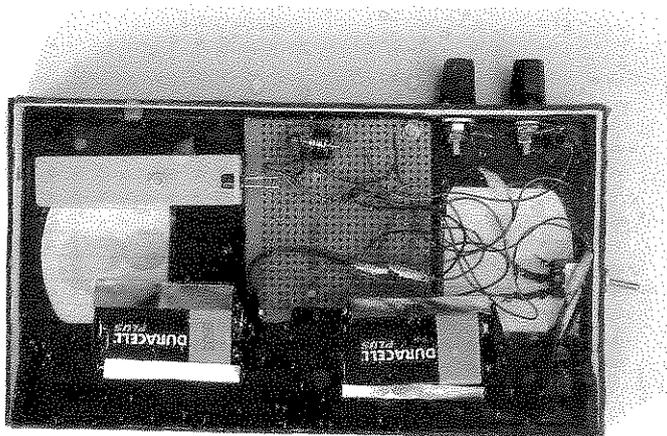


UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Trabalho de Licenciatura

*“Desenho e Construção de um
Fotómetro solar manual simples”*



Fotómetro Solar

Autor : Munguambe, Simião António

Maputo , Setembro 2005



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

Trabalho de Licenciatura

***“Desenho e Construção de um
Fotómetro solar manual simples”***

Autor : Munguambe, Simião António
Supervisores : Prof.Dr. Rogério José Uthui
Dr. António Queface

Maputo, Setembro 2005

DECLARAÇÃO DE HONRA

Este trabalho foi completamente produzido e realizado com base no material a que ao longo do mesmo se faz referência. As ideias originais que vem mencionadas no trabalho , são da inteira responsabilidade do autor.

Maputo, Setembro de 2005

O autor:


(Simião António Munguambe)

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado em especial a duas das mais importantes pessoas deste mundo ao meu filho Lars Munguambe e à minha esposa Carmen Margarida.

AGRADECIMENTOS

Este espaço não será suficiente para agradecer todos que de uma maneira ou outra contribuíram para que este trabalho fosse realizado. Deste modo a todos os que não forem mencionados não se sintam excluídos porque estarei eternamente grato a todos vocês. Agradeço em primeiro lugar a Deus por mais um objectivo alcançado.

- Em seguida o meu imensurável obrigado aos meus supervisores, Prof. Dr. Rogério Uthui e ao Dr. António Queface, pela disponibilidade, orientação e pelo apoio inestimável para que fosse possível realizar no Departamento de Física este trabalho pioneiro.
- Os meus agradecimentos são extensivos ao dr. Cláudio Paulo que com o seu conhecimento e zelo soube orientar e proporcionar momentos de saber.
- Agradeço a todos os docentes do Departamento em especial ao Prof. Dr. Maphossa e ao Dr. Chea que desde a física básica à espectroscopia mergulharam-me neste mundo da Física.
- Aos membros CTA do Departamento de Física, em especial a D. Rosa, Eulália, D. Etelvina e ao sr. Saúl pelo acesso ao material bibliográfico durante o curso e na realização deste trabalho.
- O meu obrigado vai á minha família em especial aos meus pais António Munguambe, Rosa e Carolina e não esquecendo os meus irmãos Rute, Camilo, Ivan e Milton.
- A minha esposa Carmen e ao meu filho Lars vai o meu profundo obrigado pelo apoio inesgotável.
- Ao meu colega Ainadine com quem trabalhei durante a minha formação e na realização deste trabalho vai o meu imensurável obrigado e o meu sentimento eterno de gratidão por estes dias árduos de trabalho e de pesquisa.
- Aos meus amigos e colegas da Física Aplicada no ramo das energias renováveis, obrigado pela óptima companhia em especial ao Cajó, dr. Fialho, dr. Leonel, dr. Lucílio.
- Aos meus colegas do INAHINA em especial ao sr. Pelembe, Eng. Calisto, Carlos M., Eugénio, Titos, e em especial a Rosa e a Ana Maria que deram o seu contributo quando de ajuda precisei.

PROVÉRBIO

“A única maneira de não cometer erros é não fazer nada. Não fazer nada é o maior erro que se pode cometer em toda uma existência”

Confúcio --filósofo chinês

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Espectro electromagnético
- Figura 2.** Circuito eléctrico do fotómetro com os três blocos
- Figura 3.** Díodo emissor de luz
- Figura 4.** Definição de metade do ângulo
- Figura 5.** Esquema energético no detector led
- Figura 6.** Transições permitidas entre as bandas de condução e de valência no díodo LED
- Figura 7.** Uma chaminé industrial a lançar fuligem para atmosfera
- Figura 8.** Absorvidade de alguns gases atmosféricos e da atmosfera como um todo
- Figura 9.** Espectro da radiação solar no topo da atmosfera (curva superior) e ao nível do mar (curva inferior), para atmosfera média e sol no zénite
- Figura 10** Diagrama da relação entre a absorção e a transmitância
- Figura 11.** O Espectro de absorção e transmissão na região do infravermelho por seis gases absorvedores
- Figura 12.** Definição da massa óptica do ar
- Figura 13.** Guia das perfurações para o fotómetro solar
- Figura 14.** Disposição das peças e diagrama de instalação do fotómetro solar
- Figura 15.** Suporte angular instalado dentro do fotómetro solar
- Figura 16.** Díodo com a extremidade aplainada
- Figura 17.** Vista do interior do fotómetro solar com todo material instalado
- Figura 18.** A porta solar do fotómetro solar
- Figura 19.** Relação da tensão em função do tempo dos dados dia 30/08/04 para LED amarelo
- Figura 20.** Relação da tensão em função do tempo dos dados dia 30/08/04 para LED verde
- Figura 21.** Relação da tensão em função do tempo dos dados dia 01/09/04 para LED amarelo
- Figura 22.** Relação da tensão em função do tempo dos dados dia 01/09/04 para LED verde

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação de energia de acordo com a repartição do espectro solar na faixa de luz visível

Tabela 2: Picos característicos de emissão de alguns díodos emissores de luz

Tabela 3: Alguns poluentes atmosféricos e aerossóis, suas fontes e processos de que originam

Tabela 4: Características dos LEDs usados nos fotómetros solares

Tabela 5: Dados referentes ao dia 30/08/04 do LED amarelo

Tabela 6: Dados do dia 30/08/04 do LED verde

Tabela 7: Dados do dia 05/09/04 do LED amarelo

Tabela 8: Dados do dia 05/09/04 do LED verde

ACRÓNIMOS

a_x : coeficientes espalhadores

$\beta_e(\lambda, z)$: perfil vertical do coeficiente da extinção do aerossol

$\beta_s(\lambda, z)$: coeficiente de dispersão do aerossol

$\beta_a(\lambda, z)$: coeficiente de absorção do aerossol

β_c : função complexa da composição da partícula

CDV : campo de vista

COV : Compostos Orgânicos Voláteis

CO₂ : Dióxido de Carbono

CFC's : clorofluorcarbonetos

c.t.v : Comprimento do trajecto vertical;

c.t.i : Comprimento do trajecto inclinado;

const.ET : Constante extraterrestre;

EUA : Estados Unidos da América

EOA : espessura óptica da atmosfera

$F_{\lambda}(\infty)$: radiação directa no topo da atmosfera

$F_{\lambda}(0)$: fluxo de radiação atenuada nas proximidades da terra.

GaAs_{1-x}P_x : fosfoarsenido de gálio

GaP : Fosfide de Gálio

http : HyperText Transfer Protocol;

html : HyperText Markup language

INAHINA : Instituto Nacional de Hidrografia e Navegação

LED : díodo emissor de luz (abreviatura em inglês de *light emitting diode*)

mm : milímetros

N : negativo

NO_x : óxidos de nitrogénio

Φ_0 : energia da barreira potencial

Região P: região positiva

R_{sc} : constante solar

R_s : densidade de fluxo de radiação global

Sr : esferoradianos

SO_x : Óxidos de Enxofre

s.s.l : Sinal sem luz

sec: secante

τ_{λ} : espessura óptica total

$\tau_{(\lambda)}^R$: profundidade óptica de Rayleigh

$\tau_{(\lambda)}^M$: profundidade óptica do aerossol

VOC : compostos voláteis orgânicos

V_s : Tensão da luz

V_d : Tensão do sinal escuro

VDC : tensão contínua (termo em inglês *voltage continuous*)

VHS : abreviatura em inglês de *very high sistem*

www : world wide web.

SÍMBOLOS

Å : angstrom

α : ângulo solar

β : Índice óptico do material

c : velocidade de luz

C: Colombo

Cos : coseno

cm : centímetro

E_c : energia da banda de condução

E_v : energia da banda de valência

E_g : energia da banda proibida

eV: electrão-volt

E_λ⁰ : irradiância espectral na superfície terrestre;

E₀ : irradiância espectral extraterrestre;

h : constante de Planck

I₀ : densidade de fluxo inicial da luz,

I₁ : densidade de fluxo

I : espessura da atmosfera

κ_a : coeficiente de extinção atmosférica

μ : massa óptica de ar

Φ : designa os ângulos

Ω : ângulo sólido

q : carga de electrão

P : Pressão atmosférica.

T : temperatura em Kelvin.

v : a frequência da radiação incidente.

λ : comprimento de onda.

m : metro

mcd : microcandela

mA : miliampere

mW : miliwatt

nm : nanómetro

M Ω : megaohm

μm : micrómetro

T : transmitância

RESUMO

A fotometria é a medição de luz que provém de um objecto. Nela as características físicas da radiação e as do tipo de detector são tomadas em consideração. Ainda pode ser tida como um método usado para medir a atenuação sofrida pela radiação solar quando atravessa a atmosfera até a superfície terrestre.

O objectivo da fotometria solar é o de medir a intensidade de um feixe de luz transmitido directamente do sol através da atmosfera.

A dimensão com que as moléculas e outros constituintes atmosféricos removem a luz deste feixe, com a dispersão ou absorção, é uma das características muito importante da atmosfera. Ao saber-se a radiação atenuada pela atmosfera pode-se determinar os parâmetros principais que descrevem o estado óptico da atmosfera tais como: espessura óptica dos aerossóis, seu tamanho e sua concentração.

Com propósitos de contribuir nos estudos sobre a poluição atmosférica foram desenhados e construídos, pela primeira vez, no Departamento de Física da UEM, Fotómetros Solares que usam fotodíodos como sensores(detectores) para medição da intensidade de radiação e um amplificador operacional(LM741) para inversão da corrente produzida pelo LED em tensão eléctrica.

Os fotómetros solares manuais foram construídos com LEDs de cores verde, amarelo e vermelha.

Verificou-se que os díodos emissores de luz apesar de serem concebidos para emitirem a luz eles detectam-na muito bem. Dos dados colhidos com os fotómetros solares constatou-se que os valores de tensão medidos pelo voltímetro variavam com a intensidade da radiação solar, pese embora tenham surgido algumas flutuações na tensão de saída.

Destaca-se que a importância deste trabalho não se resume apenas no desenhar e construir fotómetros solares mas também em proporcionar e contribuir na criação e desenvolvimento de ferramentas que ajudem nos estudos sobre a poluição atmosférica e não só.

Desenho e Construção de um Fotómetro Solar Manual Simples

CAPÍTULO I	2
Introdução e objectivos	2
1.1 Introdução	2
1.1.1 Atenuação da radiação solar	3
1.1.2 Motivação	4
1.2 Objectivos	5
1.2.1 Objectivo geral	5
1.2.2 Objectivos específicos	5
CAPÍTULO II	6
Fundamento teórico	6
2.1 Fotometria	6
2.2 Fotómetros solares	6
2.3 Historial de fotómetros solares com led _s	7
2.4 Desenvolvimento dos fotómetros solares que usam led _s	8
2.5 Fotómetro solar manual simples	9
2.6 Díodo emissor de luz (led)	10
2.6.1 Díodo emissor de luz como detector da luz solar	10
2.6.2 Detector led usado no fotómetro solar	11
2.6.3 Teoria de detecção do díodo emissor de luz	12
2.6.4 Tempo de vida de um díodo led	15
2.6.5 Resposta espectral dos díodos emissores de luz	15
2.6.6 Selecção do campo de vista	17
2.7 Amplificador do fotómetro solar	17
2.8 Partículas poluentes e aerossóis	17
2.8.1 Poluição	17
2.8.2 Poluição atmosférica	18
2.8.3 Aerossóis	19
2.8.4 Fontes de emissão de poluentes e aerossóis atmosféricos	20
2.8.5 Efeitos de emissão de poluentes e aerossóis para atmosfera	21
2.8.6 Tamanhos e tipos de aerossóis	22
2.9.1 Dispersão da luz	23
2.9.2 Espalhamento	23
2.9.3 Reflexão	25
2.9.4 Absorção	26
2.10 Transmissão	29
2.11 Massa óptica de ar	32
2.12 Espessura óptica dos aerossóis	33
2.13 Calibração	34
CAPÍTULO III	36
Materiais e métodos	36
3.1 Metodologia	36
3.2 Material necessário:	37
3.3 Construção do fotómetro solar	38
3.4 Preparação da caixa de video cassete vhs	38
3.5 Instalação do equipamento	40
3.6 Preparação dos fios	43
3.7 Preparação do interruptor	43

Desenho e Construção de um Fotômetro Solar Manual Simples

3.8	Preparação do detector de luz (diodo led)	44
3.9	Montagem do circuito	45
3.10	Verificação dos circuitos dentro do fotômetro solar.....	47
CAPÍTULO IV		48
Resultados		48
4.1	Teste de funcionamento do circuito	48
4.2	Testagem do fotômetro solar	49
4.3	Flutuações dos dados	55
4.4	Fontes do ruído	55
CAPÍTULO V.....		57
Conclusões e recomendações.....		57
5.1	Conclusões	57
5.2	Recomendações	57
CAPÍTULO VI		59
Referências bibliográficas.....		59
6.1	Bibliografia	59
6.2	Sites consultados.....	59
ANEXOS		61

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

1.1 INTRODUÇÃO

A troca de energia entre a Terra e o resto do Universo ocorre por radiação, sendo que esta é única que pode atravessar o espaço vazio. O sistema Terra-atmosfera está constantemente absorvendo radiação solar e emitindo a sua própria radiação para o espaço (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-2.html>).

Assim, a radiação electromagnética tem um papel importante na transferência de calor entre a superfície da Terra e a atmosfera e, ainda entre as diferentes camadas da atmosfera. A radiação electromagnética é um conjunto de ondas (eléctricas e magnéticas) cuja velocidade no vácuo é de cerca de $c = 3.10^8$ m/s.

Existem várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda, que compõem o espectro electromagnético como mostra a figura 1 (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-3.html>).

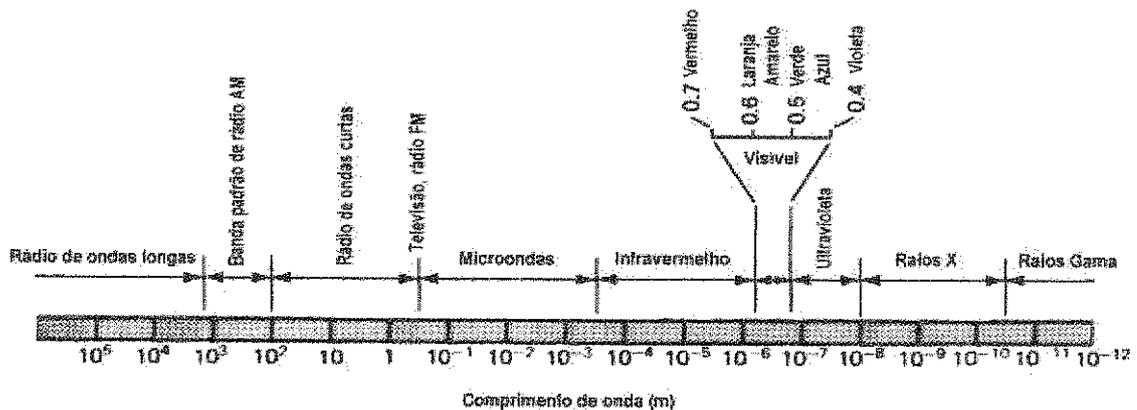


Figura 1. Espectro electromagnético (fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-2.html>)

A distribuição da radiação electromagnética emitida pelo Sol, como função do comprimento de onda incidente no topo da atmosfera, é chamada de espectro solar.

As medições feitas indicam que 99 % da energia solar está contida entre 0,25 μm e 4,00 μm , ficando 1 % para os comprimentos de onda maiores do que 4,00 μm . A radiação solar é conhecida como radiação de ondas curtas.

O espectro solar é dividido em três faixas (bandas) principais de comprimentos de onda, ou seja:

Ultravioleta	$\lambda \leq 0,38 \mu\text{m}$
Luz visível	$0,38 \mu\text{m} < \lambda \leq 0,76 \mu\text{m}$
Infravermelho	$\lambda > 0,76 \mu\text{m}$

A tabela 1 mostra a radiação solar visível correspondente a diferentes faixas de comprimentos de onda. (Assis, 2002).

Tabela 1. Variação de energia de acordo com a repartição do espectro solar na faixa de luz visível (fonte: Assis e Escobedo, 1996)

Cores	Comprimento de onda (μm)
Violeta	0,38 μm a 0,42 μm
Azul	0,42 μm a 0,49 μm
Verde	0,49 μm a 0,54 μm
Amarelo	0,54 μm a 0,59 μm
Laranja	0,59 μm a 0,65 μm
Vermelho	0,65 μm a 0,76 μm

1.1.1 ATENUAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR

A luz solar ao atravessar atmosfera para a superfície da terra é atenuada porque as moléculas de gases e aerossóis contidos na atmosfera absorvem e dispersam a energia solar.

Supondo que não hajam moléculas ou aerossóis no espaço entre o sol e o alto da atmosfera, neste caso não haverá atenuação da luz solar acima da atmosfera (<http://www.larc.nasa.gov/>).

A radiação que chega à superfície terrestre é relativamente inferior, se comparada com a do topo da atmosfera. Esta atenuação é dependente do tipo de partículas, sua composição e seu tamanho (Assis e Escobedo, 1996).

A fotometria é um método que permite medir a atenuação que a radiação sofre até a superfície terrestre sendo conhecida a mesma no topo da atmosfera (determinada analiticamente ou medida por satélites).

O objectivo da fotometria do sol é o de medir a intensidade de um feixe de luz transmitido directamente do sol através da atmosfera.

A dimensão com que as moléculas e outros constituintes atmosféricos removem a luz deste feixe, com a dispersão ou absorção, é uma característica importante da atmosfera.

Esta atenuação é expressa em termos da espessura óptica da atmosfera; quanto maior este valor, mais luz é removida do feixe (Walsh,1958).

A dispersão molecular é uma propriedade essencialmente fixa da atmosfera “pura”, mas a dispersão devido aos aerossóis é relacionada à poluição e a outros fenómenos naturais.

O trajecto dos raios solares através da atmosfera é afectada pela quantidade de atenuação. A quantidade da atmosfera (espessura óptica do ar), atravessada por um raio de sol enquanto viaja do alto da atmosfera a um ponto na superfície da terra, é chamada frequentemente de *massa óptica de ar*. Quanto mais longo for o trajecto dos raios solares na atmosfera, maior massa de ar será encontrada pelos raios solares e, conseqüentemente, haverá maior atenuação.

Os fotómetros solares são usados para determinar as mudanças da intensidade de radiação solar na terra e deste modo estudar a distribuição de material particulado em suspensão (aerossóis) na atmosfera em função da sua forma (Dubois,1998).

As propriedades ópticas dos aerossóis tais como a dispersão (espalhamento), absorção, transmitância, extinção e reflectividade, podem ser usadas na correcção quantitativa dos efeitos de poluição do ar atmosférico, pois mostram o que sucede ao feixe da luz solar no seu percurso até à superfície terrestre.

1.1.2 MOTIVAÇÃO

Com o objectivo de contribuir nos estudos da área de poluição atmosférica foi construído no Departamento de Física da UEM um fotómetro solar manual simples.

O propósito de construir um fotómetro solar manual, deveu-se principalmente a sua importância como um instrumento muito útil para medir intensidade da radiação solar que chega a superfície terrestre. Os dados obtidos da radiação solar medidos pelos fotómetros solares podem permitir determinar as propriedades ópticas da atmosfera e espessura óptica dos aerossóis, pois mostram o que sucede ao feixe da luz solar no seu percurso até à superfície terrestre.

1.2 OBJECTIVOS

1.2.1 OBJECTIVO GERAL

- Construir fotómetros solares manuais e simples com LEDs de cores diferentes.

1.2.2 OBJECTIVOS ESPECÍFICOS

- Desenhar e construir fotómetros solares manuais nos comprimentos de onda do verde, amarelo e vermelho;
- Testar fotómetros solares no laboratório e ao ar livre;
- Analisar os resultados das medições para avaliar a eficiência dos diferentes comprimentos de onda dos LEDs na detecção da luz.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 FOTOMETRIA

A fotometria é a medida da luz proveniente de um objecto. Ela toma em consideração as características físicas da radiação assim como as características do tipo de detector. Nas últimas décadas do sec. XIX muitos tipos de detectores electrónicos foram e continuam sendo usados para medir a intensidade da radiação electromagnética proveniente do espaço (Walsh, 1958).

Um sistema para medição da luz é o fotómetro. Este pode ser entendido como um instrumento que mede a intensidade da radiação solar. O espectro solar contém energia em todos comprimentos de onda e o fotómetro solar pode ser construído para um comprimento de onda específico no espectro electromagnético (www.concord.org/haze/what.html).

No ano de 1974, Frederick E. Voltz desenvolveu um fotómetro solar portátil que usava como detector um díodo emissor de luz (LED) para “medir” aerossóis atmosféricos baseando-se nas designações do Forrest M. Mims III, o que impulsionou os estudos para a monitorização e resolução de problemas ambientais (www.concord.org/haze/what.html).

Neste trabalho apresenta-se um projecto de fotómetros solares nos comprimentos de onda de amarelo, verde e vermelho, tendo todos um princípio de funcionamento semelhante e descrevendo, todavia, a montagem de apenas um deles (de comprimento de onda no vermelho).

2.2 FOTÓMETROS SOLARES

O fotómetro solar é um instrumento que mede a intensidade da radiação solar. Esta ao incidir sobre um detector e este produz uma corrente eléctrica. Este sinal eléctrico é, posteriormente, amplificado, sendo proporcional à intensidade da radiação solar.

Os fotómetros solares, ao medirem a intensidade da radiação solar, pode-se determinar a atenuação da luz solar directa causada por vários gases e aerossóis presentes na atmosfera tais como a poeira, a neblina, o nevoeiro com fumo, nevoeiro, o fumo e emissões vulcânicas (<http://www.globgov/fsl/html/templ>).

O funcionamento de fotómetro solar convencional consiste em detectar uma faixa relativamente estreita de comprimentos de onda. Usa filtros ópticos de interferência cujo o emprego data de há longa data, e estando sujeitos a uma maior degradação .

Para fazer face a esta questão introduziu-se, alternativamente aos fotómetros solares o uso de díodos emissores de luz (LEDs), como detectores de luz (<http://www.globegov/fsl/html/templ>).

O fotómetro solar com díodo LED é um dispositivo que usa díodos emissores de luz, sensíveis às cores ou comprimentos de onda específicos da radiação emitida pelo sol, onde na saída têm um sinal eléctrico que pode ser medido em forma de tensão por um voltímetro digital (preferencialmente) ou analógico (<http://www.globegov/fsl/html/templ>).

Existem vários e tipos diferentes de fotómetros solares que usam LEDs como detectores, os quais se podem agrupar em classes, sendo de destacar os manuais e simples, portáteis com aplicações em áreas diferentes de estudo. Actualmente já existem fotómetros multicanais (mais de um canal) destacando-se, por exemplo, o fotómetro CIMEL com oito canais.

Existem outros que usam filtros ópticos para detecção de diferentes comprimentos de onda da radiação (podem detectar o vapor de água, ozono, etc.), sendo, porém, mais evoluídos tecnicamente (<http://www.globegov/fsl/html/templ>).

O desenvolvimento da classe de fotómetros solares manuais simples, que usam díodos LEDs como detectores sensíveis à radiação de comprimentos de onda específicos emitidos pelo sol serviu de base para a concepção de um instrumento simples mas útil relatado neste trabalho. Com os dados da medição da intensidade de radiação é possível avaliar o estado óptico da atmosfera (<http://www.globegov/fsl/html/templ>).

2.3 HISTORIAL DE FOTÓMETROS SOLARES COM LED_s

A existência de fotómetros solares com LEDs, surge com o desenvolvimento de um fotómetro solar muito simples que não usava filtros, mas com um desempenho que rivaliza com o dos instrumentos que usavam filtros muito mais evoluídos tecnicamente.

A nova classe dos fotómetros solares usa díodos emissores de luz comuns (LEDs) como detectores selectivos do espectro da luz solar.

O primeiro fotómetro solar que usava um díodo LED foi colocado em serviço no Texas (EUA) em 1989. Este forneceu um registo importante dos eventos principais dos aerossóis tais como o da erupção do Monte Pinatubo, do fumo de México, e de eventos principais da poeira do México, da China e de África (<http://www.globe.gov/fsl/html/templ>).

As calibrações anuais de outros dois fotómetros solares com díodos LEDs no observatório de Mauna Loa, em Havai (EUA), iniciaram em 1992 e 1996. Estas mostraram que a calibração destes instrumentos não deriva além de 1-2 % da calibração original.

Estudos pilotos na Universidade das Nações em Havai, Suíça e diversas palestras de professores demonstraram que estudantes e professores podem construir, operar e calibrar um fotómetro solar simples que usa um díodo LED e que quando usados correctamente, estes instrumentos fornecem dados sobre a profundidade óptica tão válidos quanto aqueles adquiridos por instrumentos mais convencionais (<http://www.globe.gov/fsl/html/templ>).

2.4 DESENVOLVIMENTO DOS FOTÓMETROS SOLARES QUE USAM LED_s

O desenvolvimento no uso dos díodos emissores de luz como detectores da luz, para o uso em fotómetros solares, teve Forrest Mims II como pioneiro. Estes dispositivos são simples e provaram que são extremamente estáveis, se comparados aos instrumentos baseados em filtros ópticos de interferência (<http://www.globe.gov/fsl/html/>).

Entretanto, os instrumentos simples de monitorização atmosférica tais como os que se propõem aos desafios actuais, quando são considerados para o uso científico sério e não apenas como ferramentas pedagógicas para aprender sobre a atmosfera, devem primeiro ser caracterizados em termos de desempenho quantitativo .

Discutem-se, alguns tópicos que são importantes para a aceitação de fotómetros solares baseados em díodos emissores de luz pela comunidade científica, que são:

- a resposta espectral dos díodos emissores de luz usados como detectores de luz;
- o efeito do tamanho do campo de visão na calibração e no uso de díodos emissores de luz nos fotómetros solares (<http://www.globe.gov/fsl/html/>).

2.5 FOTÓMETRO SOLAR MANUAL SIMPLES

O protótipo de um fotómetro solar baseado num díodo emissor de luz (LED), foi descrito em detalhes no site do *Concord* (www.concord.org/haze), e uma descrição abreviada foi também publicada no *Scientific American* em 1997 (Carlson, 1997).

O instrumento inicial do fotómetro solar foi baseado no TERC –VHS1 (DuBois,1998) e constituiu um projecto fundamental com propósitos educacionais e, para os interessados, como um passatempo na determinação das propriedades ópticas da atmosfera, dos aerossóis atmosféricos e mais (www.concord.org/haze).

O fotómetro solar tem o desenho muito simples e limitado.

Um circuito ligeiramente modificado consiste em apenas três blocos electrónicos:

- Díodos emissores de luz verde, amarela e vermelha;
- Amplificador operacional (conversor de corrente/tensão) que opera com uma fonte de tensão de 18 volts (2x9V), uma resistência e um interruptor para ligar/desligar;
- E jeques de saída para conectar um medidor de tensão (voltímetro digital preferencialmente).

O circuito eléctrico do fotómetro solar simples é mostrado na figura 2. O ganho do circuito é controlado pela resistência de realimentação de $3,9\text{M}\Omega$. As saídas de $\approx 2\text{V}$ são obtidas facilmente com uma resistência de alguns megaohms .

O circuito é montado numa caixa fechada com a extremidade do díodo LED a apontar para uma abertura circular pequena numa das extremidades (superiores) da caixa chamada de porta solar.

O instrumento é apontado directamente ao sol através da porta solar e a tensão máxima é registada (gravada). É necessário gravar “a tensão escura” de saída do circuito quando a porta solar é obstruída (www.concord.org/haze).

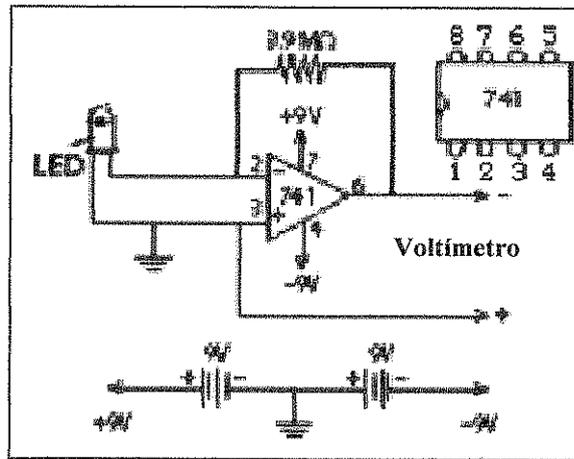


Figura 2. Circuito eléctrico do fotómetro solar com os três blocos (fonte: <http://haze.concord.org/spworks.html>)

O fotómetro solar é um dispositivo projectado para medir a intensidade directa da luz solar que penetra na atmosfera, e não a difusa ou dispersa na atmosfera. A limitação primária deste instrumento é a durabilidade do revestimento.

Assim, este dispositivo projectado por Forrest Mims é uma ferramenta simples, porém eficiente e prática para o cientista amador, que pode a partir dos dados obtidos na medição radiação solar determinar o quanto os constituintes atmosféricos absorvem uma porção da luz solar directa na atmosfera (<http://www.concord.org/haze/>).

2.6 DÍODO EMISSOR DE LUZ (LED)

O díodo emissor de luz é um dispositivo semiconductor do tipo PN que emite a luz de uma cor específica quando uma corrente eléctrica passa através dele. Os díodos semicondutores podem também ser usados como detectores de luz.

2.6.1 DÍODO EMISSOR DE LUZ COMO DETECTOR DA LUZ SOLAR

Os díodos LEDs são projectados para emitirem a luz, não para a detectar. Sucede, todavia que eles detectam bem a luz. Ao contrário dos detectores projectados especificamente para detectar a luz, os díodos LEDs detectam a luz de comprimentos de onda específicos numa faixa relativamente estreita.

Geralmente, o comprimento de onda da luz detectado por um díodo LED é mais curto do que o da luz emitido pelo mesmo díodo. Como exemplo, determinados díodos LEDs vermelhos são, de alguma forma, bons detectores da luz alaranjada (<http://www.concord.org/haze>).

Um díodo LED que emite uma luz amarelo-esverdeada, num comprimento de onda máximo de aproximadamente 555 nanómetros (nm), por exemplo, detecta a luz verde num comprimento de onda máximo de aproximadamente 525 nm sobre uma largura espectral de aproximadamente 50 nm (<http://www.concord.org/haze>).

A luz do sol faz com que o díodo LED (detector) gere uma corrente eléctrica minúscula como uma pilha solar. Esta corrente vai ao amplificador operacional, que é conectado de modo que a corrente do díodo LED seja convertida em tensão e esta é impulsionada pelo valor da resistência na ordem de ohms (<http://www.concord.org/haze>).

2.6.2 DETECTOR LED USADO NO FOTÓMETRO SOLAR

O detector usado no fotómetro solar é geralmente o díodo LED em modo reverso. Os LEDs usados neste trabalho tinham a aparência verde, vermelha e amarela para indicarem uma emissão das luzes verde, vermelha e amarela dos díodos, respectivamente.

Estes são encapsulados num pacote epóxi redondo de 5 milímetros com a extremidade final arredondada para maximizar e dispersar a saída da luz em todas as direcções. A figura 3 mostra um díodo LED com a extremidade final arredondada (DuBois,1998).

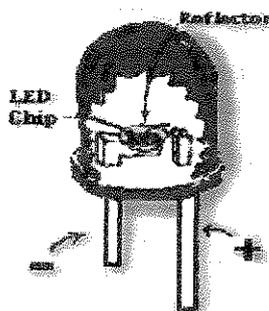


Figura 3. Díodo emissor de luz (fonte: <http://www.globe.gov/fsl/html/>)

Deixando-se a extremidade final arredondada degradar-se-iam as medições por reflectir parcela da radiação solar incidente fora do díodo. O detector do fotómetro solar foi projectado para ver somente uma pequena parcela do céu. O campo de visão ou metade do ângulo ($\theta_{1/2}$) foi definido em $3^{\circ} 4' 55.55.851''$ ou 3.082181° (DuBois,1998).

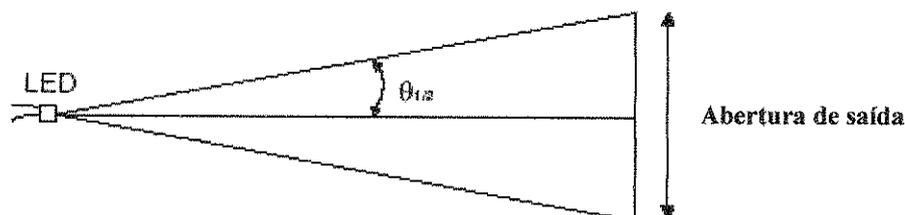


Figura 4. Definição da metade do ângulo (fonte: DuBois,1998).

Este ângulo corresponde ao ângulo sólido de $\Omega = 9.089 \times 10^{-5}$ sr.

Teve-se em perspectiva que o ângulo sólido do sol é de cerca de $\Omega = 7.0 \times 10^{-3}$ sr. O fotómetro solar tem um campo de visão de aproximadamente 11 vezes que o tamanho do ângulo solar. Este ângulo sólido foi concebido para que todo o LED fosse iluminado com cerca de 1 mm à volta da margem do sensor (DuBois, 1998) .

2.6.3 TEORIA DE DETECÇÃO DO DIODO EMISSOR DE LUZ

Juntando dois tipos de semicondutores através de uma junção p-n, o díodo LED emite a luz quando uma corrente passa através deles. Estes dispositivos são capazes de converter um fluxo dos electrões (corrente eléctrica) em luz e vice-versa.

O efeito fotovoltaico requer uma barreira potencial com um campo eléctrico para poder funcionar. Um fotão incidente de energia mais alta ou igual à energia da banda proibida, por exemplo, pode criar um par lacuna-electrão. O campo eléctrico da junção não permitirá que o par lacuna-electrão se recombine. Os fotoelectrões estarão, conseqüentemente, disponíveis para produzirem uma corrente eléctrica através de um circuito externo (Dereniak e Crowe, 1984).

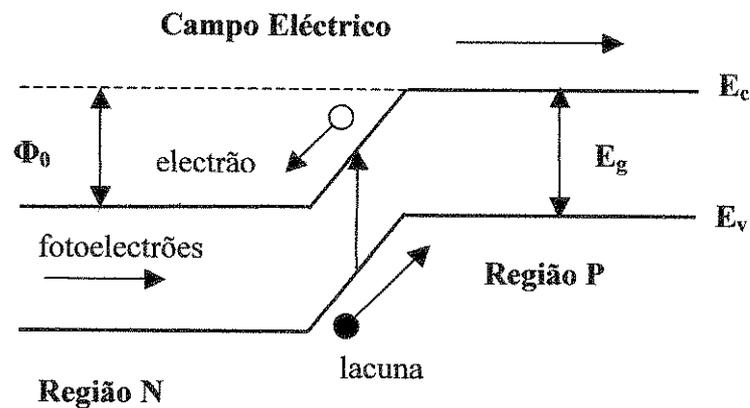


Figura 5. Esquema energético no detector led (fonte: Dubois,1998)

Na figura 5, Φ_0 é a energia da barreira potencial, E_c e E_v são as energias do fundo das bandas de condução e de valência respectivamente que definem a energia da banda proibida (E_g) por exemplo em electrão-volt (eV) (Dubois,1998).

Para o funcionamento em modo fotovoltaico, os fotões incidentes devem ter como exigência a energia básica suficiente para excitar os fotoelectrões através da banda de energia. Também é necessário ter a temperatura do detector bastante baixa para que os electrões não sejam excitados termicamente através da banda proibida. Esta exigência de energia pode também ser expressa em:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} \geq E_g \quad (1)$$

onde h é constante de Planck, c é a velocidade da luz, λ é o comprimento de onda da radiação incidente e ν é a frequência da radiação incidente (Dubois, 1998).

Para um comprimento de onda de 525 nm, a banda energética correspondente da junção é de 2.36 eV. Este comprimento define a interrupção longa do comprimento de onda para o material. Para os comprimentos de onda mais curtos do que o λ da Eq.(1), a radiação incidente é absorvida pelo semiconductor e os pares lacuna - electrão são gerados (Sze,1981).

O confinamento térmico é de tal modo que a energia térmica é menor do que a energia da junção ou seja:

$$\frac{3}{2}kT \ll E_g \quad (2)$$

onde k é constante de Boltzman e T é a temperatura absoluta em Kelvin. Quando esta relação é válida, o material torna-se isolador.

A largura da faixa espectral relativamente estreita é o resultado das transições permitidas entre as bandas de valência e de condução no material (Dubois, 1998).

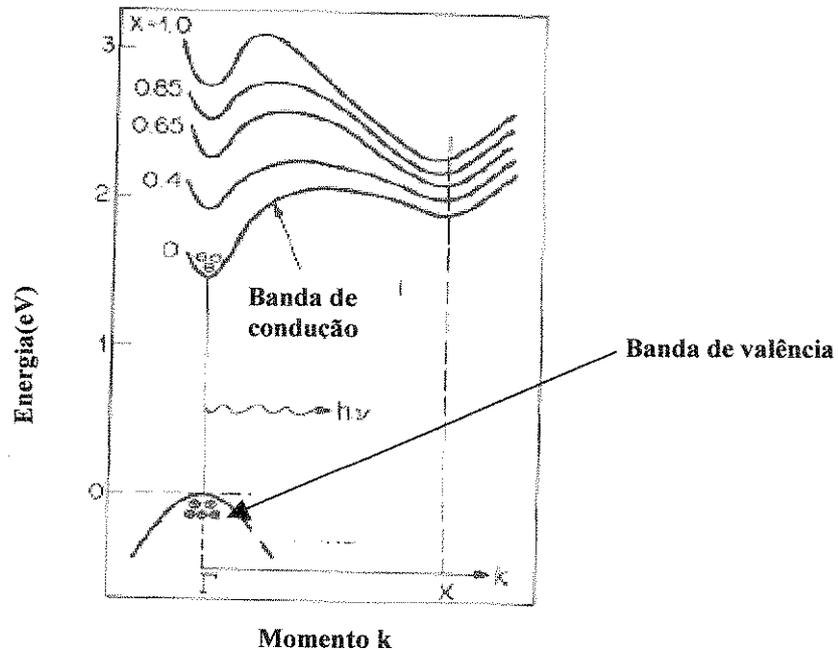


Figura 6. Transições permitidas entre as bandas de condução e de valência no díodo LED (fonte: Dubois,1998)

A figura 6 mostra as transições permitidas entre as bandas de condução e de valência em fosfoarsenido de gálio ($\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$) onde o $x = 0.4$ se referem às do vermelho, $x = 0.65$ são as alaranjadas, $x = 0.85$ são as amarelas e $x = 1.0$ são da luz verde. Os díodos emissores da luz verde são manufacturados de fosfide de gálio (GaP) onde um diagrama similar para a abertura do semiconductor GaP poderia ser mostrado (Sze,1981).

A maioria dos díodos emissores de luz verde manufacturados actualmente tem os comprimentos de onda de emissão entre 565 a 570 nm. Para o olho, esta região espectral o verde tem aparência verde-amarelada.

O díodo LED de fosfide de gálio (GaP) que emite no verde, alarga o pico principal da emissão ao longo do comprimento de onda com concentração crescente do nitrogénio sem um deslocamento correspondente no pico comprimento de onda.

Para o díodo LED verde usado neste projecto, o pico de emissão do comprimento de onda está teoricamente situado em 555 nm, com uma meia largura da linha espectral de 30 nm. O seu comprimento de onda de detecção é teoricamente de 525 nm com a mesma meia largura da linha espectral (Dubois, 1998).

2.6.4 TEMPO DE VIDA DE UM DÍODO LED

O tempo de vida do díodo emissor de luz é longo, tipicamente na ordem de 10^5 horas. A vida é definida como o tempo que decorreu para alcançar a diminuição de 50% da eficiência externa. A detecção do díodo LED pode ser em modos fotovoltaico ou fotocondutivo.

O modo fotovoltaico permite a emissão de um sinal mais elevado desde que se elimine o ruído da resistência da carga. Por outro lado, um díodo LED em modo fotocondutivo tem maior sensibilidade do que um díodo LED em modo fotovoltaico. Neste projecto os díodos LEDs operam no modo fotovoltaico (Dubois, 1998).

2.6.5 RESPOSTA ESPECTRAL DOS DÍODOS EMISSORES DE LUZ

A propriedade fundamental dos díodos LEDs é sua cor da emissão. Embora os espectros de emissão estejam prontamente disponíveis, os espectros da resposta dos díodos LEDs usados como detectores de luz não estão. Foram feitos alguns testes para determinar a resposta espectral de um díodo LED, neste caso como detector.

A tabela 4 dá algumas características de diversos díodos LEDs, incluindo os díodos emissores da luz verde e vermelha da *Radio Shack*, usados nos fotómetros solares descritos neste trabalho (<http://www.globe.gov/fsl/html/>).

Tabela 2. Picos característicos de emissão de alguns díodos emissores de luz (fonte: <http://www.globe.gov/fsl/html/>)

Descrição	Pico de emissão (nm)
Verde (Radio Shack)	569
Vermelho (Radio Shack)	626
Verde HLMP-3502 (Hewlett Packard)	569
Verde-Esmeralda HLMP-D600 (Hewlett Packard)	558
Vermelho de eficiência elevada HLMP-3762 (Hewlett Packard)	626

Para a fotometria solar, as larguras de faixa estreitas do detector são preferíveis como forma de aproximação à luz monocromática. Os filtros ópticos usados nos instrumentos comerciais têm larguras de faixa somente de alguns nanómetros (nm), mas tem um historial de degradação de maneiras imprevisíveis (<http://www.globe.gov/fsl/html/>).

Os díodos LEDs são extremamente estáveis, mas têm larguras de faixa mais largas. Os díodos por exemplo emissores de luz verde-esmeralda da Hewlett-Packard (HLMP-D600) e o vermelho de alta eficiência (HLMP3762) têm o máximo em metade da largura de aproximadamente 75 nm e de 30 nm.

Anotou-se forma assimétrica de algumas das curvas de resposta, e para o díodo emissor de luz verde-esmeralda, por exemplo nota-se o deslocamento descendente, de 558 nm para aproximadamente 525 nm, da frequência máxima da emissão para a frequência máxima da detecção (<http://www.globe.gov/fsl/html/>).

O relacionamento entre o espectro de detecção e o de emissão não é compreendido o suficiente para predizer um ou outro. Uma largura de faixa mais larga afecta directamente no cálculo da contribuição da dispersão molecular (Rayleigh) a espessura óptica total.

Para a metade da faixa do díodo emissor de luz verde esmeralda, de aproximadamente 475 nm a 550 nm, o coeficiente de Rayleigh varia por uma quantidade significativa, de aproximadamente 0,11 a 0,18. Actualmente estão em curso estudos que visam investigar como melhor representar os efeitos de dispersão molecular para um fotómetro solar com uma resposta espectral relativamente larga (<http://www.globe.gov/fsl/html/>).

2.6.6 SELECÇÃO DO CAMPO DE VISTA

A finalidade de um fotómetro solar é o de medir a intensidade da luz solar *directa*. Neste caso o instrumento deve ter menor campo de vista (CDV) prático a fim minimizar a contribuição da luz dispersa. O que se procura é o relacionamento entre o ângulo subtendido pela abertura do instrumento (porta solar), como vista do detector, e pelo CDV medido.

Para dispositivos portáteis, toma-se em conta a facilidade e a exactidão com que um instrumento pode ser apontado ao sol. O apontar mais fácil e de maior confiança requer um campo de vista mais largo (<http://www.globe.gov/fsl/html/>).

Para medir o CDV de um fotómetro solar portátil, o instrumento pode ser montado num tripé apontado-o ao sol num dia desobstruído, onde é ajustado para se obter a máxima tensão, e é travado no lugar. Subsequentemente a tensão e o tempo são gravados enquanto o sol se move, até que sinal decaía até próximo de zero (0) (<http://www.globe.gov/fsl/html/>).

2.7 AMPLIFICADOR DO FOTÓMETRO SOLAR

A inversão da corrente eléctrica produzida pelo detector LED para tensão e posterior amplificação é feita por um único amplificador operacional. A amplificação é feita por um factor de 3.10^6 vezes. E o circuito integrado é o LM 741 de 8 pinos. A conexão entre o detector LED e amplificador é feita através dos pinos 2 e 3 no circuito integrado. A tensão de funcionamento usada no fotómetro solar descrito neste trabalho é de ± 18 volts que é fornecida por 2 baterias de 9 volts cada uma (DuBois,1998).

2.8 PARTÍCULAS POLUENTES E AEROSSÓIS

2.8.1 POLUIÇÃO

A poluição vai existir toda vez que resíduos (sólidos, líquidos ou gasosos) produzidos por microorganismos, ou lançados pelo homem na natureza, forem superiores às capacidades de absorção do meio ambiente, o que irá degradar ou deteriorar o meio ambiente.

A poluição é essencialmente produzida pelo homem e está directamente relacionada com os processos de industrialização e a conseqüente urbanização da humanidade (<http://www.infocefet.hpg.ig.com.br/index.html>) .

Mas nem todo esse desequilíbrio é provocado por si. Há desequilíbrios causados por incêndios acidentais produzidos por raios que devastam áreas florestais e, ainda, os originados por erupções vulcânicas que libertam gases.

A emissão de gases tóxicos e de material particulado na atmosfera tem aumentado em quase todas as grandes áreas urbanas e industriais do mundo, afectando não só a qualidade local do ar, mas produzindo efeitos que se manifestam a grandes distâncias (<http://www.sosterravida.hpg.ig.com.br/poluicao.html>).

O desenvolvimento industrial e urbano tem originado em todo o mundo um aumento crescente da emissão de poluentes atmosféricos. O acréscimo das concentrações atmosféricas destas substâncias de uma forma geral origina desequilíbrios nos ecossistemas (http://www.achetudoeregiao.com.br/poluiçao_do_ar.htm).

2.8.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição do ar, devido às características da circulação atmosférica, é causada pela permanência de alguns poluentes na atmosfera por largos períodos de tempo, sendo responsável pelas alterações climáticas ao nível planetário. A fumaça tem sido a forma comum de poluição do ar. As fogueiras e chaminés industriais quando lançam fuligem ao ar ocasionam uma neblina densa nas regiões de climas húmidos.

A figura 7 mostra por exemplo uma chaminé industrial que está a lançar a fuligem para atmosfera (<http://www.sosterravida.hpg.ig.com.br/poluicao.html>).

A “fumaça” e a “neblina” são uma mistura química de gases que caem sobre as cidades em forma de uma bruma (nevoeiro) opaca geralmente meio escura provocando maiores problemas de poluição atmosférica. Os óxidos de nitrogénio (NOx), compostos voláteis orgânicos (VOC), dióxido de sulfureto, aerossóis ácidos e gases, bem como partículas de matéria, formam parte desta bruma (<http://www.sosterravida.hpg.ig.com.br/poluicao.html>).



Figura 7. Uma chaminé industrial a lançar fuligem para atmosfera (fonte:<http://www.sosterravida.hpg.ig.com.br/poluicao.html>)

2.8.3 AEROSSÓIS

A atmosfera terrestre é uma camada relativamente fina e composta essencialmente de nitrogénio e oxigénio que ocupam até 99 % da mesma. A maior parte do restante 1 % é ocupado pelo gás inerte argónio. Embora estes elementos sejam abundantes, eles tem pouca influência sobre os fenómenos do tempo (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2intro.html>).

A atmosfera terrestre contém além de gases, pequenas partículas, líquidas e sólidas, chamadas aerossóis. Estas são partículas de poeira em suspensão, fumaça, matéria orgânica, sal marinho, etc., que procedem de fontes naturais e das construídas pelo homem. Calcula-se que 30 % dos aerossóis na atmosfera provêm de fontes construídas pelo homem (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2intro.html>).

A importância de um gás ou aerossol atmosférico não está relacionada com a sua abundância relativa. Por exemplo, o dióxido de carbono, o vapor de água, o ozono e os aerossóis ocorrem em pequenas concentrações mas são importantes para os fenómenos meteorológicos ou para a vida.

A maior concentração dos aerossóis é encontrada na baixa atmosfera, próximo da sua fonte principal, a superfície da Terra. Eles podem originar-se de incêndios florestais, erosão do solo pelo vento, cristais de sal marinho dispersos pelas ondas que se quebram, emissões vulcânicas e de actividades agrícolas e industriais(<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2intro.html>).

Alguns aerossóis podem originar-se na parte superior da atmosfera, como a poeira dos meteoros que se desintegram. Embora a concentração dos aerossóis seja relativamente pequena, eles participam em processos meteorológicos importantes tais como:

- Em 1º lugar, alguns aerossóis agem como núcleos de condensação para o vapor de água e são importantes para a formação de nevoeiros, nuvens e precipitação.
- Em 2º lugar, alguns podem absorver ou reflectir a radiação solar incidente, influenciando a temperatura. Assim, quando ocorrem erupções vulcânicas com expressiva libertação de poeira, a radiação solar que atinge a superfície da Terra pode ser sensivelmente alterada.
- Em 3º lugar, a poeira no ar contribui para um fenómeno óptico conhecido: as várias tonalidades de vermelho e laranja no nascer e pôr-do-sol (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2intro.html>).

2.8.4 FONTES DE EMISSÃO DE POLUENTES E AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS

Existem muitas fontes que emitem poluentes e aerossóis para a atmosfera. Estas podem ser de origem humana ou não, tais como a emissão de gases das indústrias, dos automóveis e inclusive das casas, devido aos processos de combustão da biomassa.

A reacção destes compostos com a luz solar produz a chamada “fumaça” e “neblina” fotoquímica, cuja característica principal é a presença do ozono ao nível da terra, um composto que pode causar vários problemas de saúde (<http://www.tierramerica.net/2000/0813/losabias.html>).

Nas cidades, os automóveis são responsáveis por uma parcela considerável da poluição do ar. Os gases produzidos pelos motores na explosão contêm poluentes diversos tais como os óxidos de nitrogénio (NO e NO₂), monóxido e dióxido de carbono (CO e CO₂), derivados oxigenados de hidrocarbonetos, como aldeídos e peróxidos, partículas residuais da combustão.

As indústrias químicas, siderúrgicas de electrólise do alumínio, as fábricas de cimento, de papel, as refinarias de petróleo, os incineradores de lixo doméstico e industrial estão entre as principais fontes de emissão dos poluentes (<http://www.tierramerica.net/2000/0813/losabias.html>).

As fontes naturais como as erupções vulcânicas, fogos florestais e alguns processos biológicos têm contribuído para aumentar a concentração dos poluentes e aerossóis na atmosfera. A tabela 3 mostra alguns poluentes e aerossóis atmosféricos, suas fontes e processos de que originam esses poluentes (<http://www.tierramerica.net/2000/0813/losabias.html>).

Tabela 3. Alguns poluentes atmosféricos e aerossóis, suas fontes e processos de que originam (fonte: http://www.achetudoeregiao.com.br/poluição_do_ar.htm)

Poluente	Fontes	Processos
Óxidos de Enxofre (SO _x)	Antropogénicas	Combustão (refinarias, centrais térmicas, veículos diesel) e processos Industriais
	Naturais	Vulcanismo e processos biológicos
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Antropogénicas	Refinarias, petroquímicas, veículos Evaporação de combustíveis e solventes
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Antropogénicas	Combustão
	Naturais	Fogos florestais
Partículas	Antropogénicas	Combustão, processos industriais e extracção de minerais
	Naturais	Vulcanismo
CFC's	Antropogénicas	Aerossóis, sistemas de refrigeração, espumas e sistemas de combate a incêndios

2.8.5 EFEITOS DE EMISSÃO DE POLUENTES E AEROSSÓIS PARA ATMOSFERA

A poluição atmosférica afecta, ao nível da saúde humana, o sistema respiratório, provocando diversas doenças crónicas tais como a asma, bronquite crónica, infecções nos pulmões, enfisema pulmonar, doenças do coração e cancro do pulmão.

Os poluentes atmosféricos podem afectar a vegetação como a destruição de tecidos das folhas das plantas provocados pela deposição seca de SO₂, pelas chuvas ácidas ou pelo ozono, reflectindo-se na redução da área fotossintética (www.achetudoeregiao.com.br/).

O século XX regista episódios nos quais se fez noite em pleno dia . Em Londres por exemplo, houve momentos em que os autocarros deviam circular com faróis acesos, pois o Sol estava escondido pela mistura de fumaça e neblina (http://www.tierramerica.net/2000/0813/losa_bias.html).

2.8.6 TAMANHOS E TIPOS DE AERROSSÓIS

Os aerossóis atmosféricos são partículas sólidas ou líquidas cujo tamanho varia de 10^{-3} μm a aproximadamente 20 μm . Mas para pequenos grãos de areia ou orvalho o seu tamanho é de aproximadamente 0,5 mm e são originadas por uma grande variedade de materiais e objectos discretos que podem ser sólidos ou gotículas de líquidos com diâmetro menor que 100 μm ([http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Ar%20\(4\).htm](http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Ar%20(4).htm)).

As partículas poluentes com tamanhos entre 0,001 mm e 10 μm estão comumente suspensas no ar próximas das fontes de poluição, como na atmosfera urbana, plantas industriais, rodovias e fábricas em funcionamento.

Exemplos de partículas sólidas menores são: as fuligens (carbono preto), iodeto de prata, núcleos de combustão e os de sal formados através da perda de vapor da água proveniente do mar.

As partículas maiores incluem pó de cimento, poeira e carvão pulverizado. A matéria particulada líquida inclui pingos de chuva, névoa e gotas de ácido sulfúrico, sendo de origem biológica, como vírus, bactérias, esporos bacterianos e os de fungos. Os particulados podem ser orgânicos ou inorgânicos, e ambos são contaminantes atmosféricos importantes ([http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Ar%20\(4\).html](http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Ar%20(4).html)).

2.9 PROPRIEDADES ÓPTICAS DOS AERROSSÓIS

O que determina se, a radiação será absorvida, espalhada ou reflectida de volta é em grande parte o comprimento de onda da energia que está sendo transportada, assim como do tamanho e natureza do material que intervém (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2intro.html>).

2.9.1 DISPERSÃO DA LUZ (por partículas pequenas e por moléculas na atmosfera)

A atmosfera é muito transparente à radiação solar incidente, onde só 25% desta é que penetra directamente na superfície da Terra sem nenhuma interferência da atmosfera, constituindo a insolação directa. A outra parte da radiação ou é reflectida de volta para o espaço, ou é absorvida, espalhada em volta até atingir a superfície da Terra ou retornar ao espaço.

2.9.2 ESPALHAMENTO

Quando radiação solar incide em linha recta, os gases e aerossóis podem causar seu espalhamento, dispersando-a em todas as direcções, para cima, para baixo e para os lados. Neste caso a reflexão é um caso particular de espalhamento

A insolação difusa é constituída por radiação solar, que é espalhada ou reflectida de volta para a Terra. Esta insolação difusa é responsável pela claridade do céu durante o dia e pela iluminação de áreas que não recebem iluminação directa do sol.

As características do espalhamento na atmosfera dependem, em grande parte, dos constituintes da atmosfera tais como as moléculas, os gases e os aerossóis e do seu tamanho (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2intro.html>).

2.9.2.1 ESPALHAMENTO DE RAYLEIGH

O espalhamento por partículas cujo raio é bem menor que o comprimento de onda da radiação incidente, caso do espalhamento da luz visível por moléculas de gases da atmosfera, é dependente do comprimento de onda e este tipo de espalhamento é chamado de espalhamento de Rayleigh, de forma que a irradiância monocromática espalhada é inversamente proporcional à 4^a potência do comprimento de onda como mostram as fórmulas (3) e (4) (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>)

$$I = I_0 \frac{8\pi^4 N\alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \theta) \quad (3)$$

A fórmula (3) é equivalente a

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4} \quad (4)$$

Onde:

I: intensidade da luz dispersada;

I_0 : intensidade da luz principal;

N: número de espalhadores (dispersores);

α : polarizabilidade;

R: distância dos dispersores (espalhadores);

λ : comprimento de onda.

A “quantidade” da dispersão de Rayleigh que ocorre a um feixe de luz é dependente do tamanho das partículas. As moléculas de ar por exemplo, o oxigênio e o nitrogênio são pequenas em tamanho mas mais eficazes em dispersar comprimentos de onda mais curtos da luz (azul e violeta) . Esta dependência explica por exemplo a cor azul do céu (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>).

No intervalo do visível está contida grande parte da energia da radiação solar, entre o vermelho e o violeta. A luz azul ($\lambda = 0.425\mu$) tem comprimento de onda menor do que a luz vermelha ($\lambda = 0.625\mu$). Conseqüentemente, a luz azul é aproximadamente 5,5 vezes mais espalhada que a vermelha. É ainda mais espalhada que a verde, a amarela e a laranja. Assim, o céu, longe do disco do sol, parece azul (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>).

A radiação solar percorre um caminho mais longo através das moléculas de ar no nascer e no pôr do Sol, o que faz com que a luz azul de menor comprimento de onda seja mais espalhada para fora do feixe de luz.

Portanto, a radiação solar contém mais luz do extremo vermelho do espectro visível, o que explica a coloração avermelhada do céu ao nascer e ao pôr do Sol.

Este fenômeno é visível especialmente nos dias em que pequenas partículas de poeira ou de fumaça estão presentes (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>).

2.9.2.2 ESPALHAMENTO DE MIE

Quando a radiação é espalhada por partículas cujos raios se aproximam ou excedem até aproximadamente 8 vezes o comprimento de onda da radiação, o espalhamento não depende do comprimento de onda, nesse caso está-se perante o espalhamento de Mie.

A radiação no espalhamento de Mie é espalhada em todos os comprimentos de onda. As partículas que compõem as nuvens (pequenos cristais de gelo ou gotículas de água) e a maior parte dos aerossóis atmosféricos espalham a luz do Sol desta maneira. Por isso, as nuvens parecem brancas e quando a atmosfera contém grande concentração de aerossóis o céu inteiro aparece esbranquiçado (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>).

Quando o raio das partículas é aproximadamente 8 vezes maior que o comprimento de onda da radiação, a distribuição angular da radiação espalhada pode ser descrita pelos princípios da óptica geométrica. O espalhamento de luz visível por gotas de nuvens, de chuva e partículas de gelo produz uma variedade de fenómenos ópticos tais como o arco íris, as auréolas, etc (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>).

2.9.3 REFLEXÃO

A reflexão ocorre na “interface” entre dois meios diferentes, quando parte da radiação que atinge esta interface é enviada de volta. Nesta “interface” o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão (lei da reflexão). Aproximadamente 30% da energia solar é reflectida de volta para o espaço. A fracção da radiação incidente que é reflectida por uma superfície é o seu albedo. Portanto, o albedo da Terra como um todo (albedo planetário) é de 30% (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>).

O albedo varia no espaço e no tempo, dependendo da natureza da superfície e da altura do Sol. Dentro da atmosfera, os topos das nuvens são os reflectores mais importantes. O albedo no topo das nuvens depende da espessura destas, variando em menos de 40% para nuvens finas (menos de 50 m espessura) e 80% para nuvens espessas (mais de 5000 m de espessura) (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>)

2.9.4 ABSORÇÃO

A absorção é o processo em que “a energia radiante incidente é atenuada por uma substância”. Neste caso, a substância é a atmosfera. Quando a atmosfera absorve energia solar, o resultado é uma transformação irreversível da radiação em outra forma de energia. Esta é transformada de acordo com a natureza do meio que faz a absorção (<http://www.severewx.com/Radiation/transmission.html>).

Na absorção, a radiação é convertida em calor. Quando uma molécula de gás absorve radiação, esta energia é transformada em movimento molecular interno, detectável como aumento de temperatura. Portanto, os gases são bons absorvedores da radiação e tem um papel preponderante no aquecimento da atmosfera (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>).

2.9.4.1 ABSORÇÃO NA ATMOSFERA

As moléculas dos gases, das poeiras, da neblina, do fumo e das partículas de nuvens absorvem parte da energia radiante que passa através da atmosfera. Estas partículas absorvem só nos seus comprimentos de onda característicos.

O nitrogénio e o oxigénio são os gases mais importantes dos que constituem a atmosfera, sendo o nitrogénio mais abundante na atmosfera, mas um fraco absorvedor da radiação solar incidente, que se concentra principalmente nos comprimentos de onda entre 0.2 μm e 2 μm . Por seu turno, o oxigénio tem bandas de absorção consideráveis apenas na região de ultravioleta de cerca de 0,02 μm a 0,2 μm (Byers,1974).

O Ozono embora raramente consista acima de 0.2 ppm, é o maior absorvedor da radiação ultravioleta, cerca de 0,1 μm a 0,3 μm , pese embora também possa ter absorção na faixa de 9.6 μm . Para a meteorologia, os gases absorventes mais importantes na região do infravermelho são o vapor de água e o dióxido de carbono, onde a absorção ocorre usualmente em concentrações abaixo de 1% (Byers,1974).

O vapor de água é maior absorvedor em várias bandas de 1 μm até cerca de 6.5 μm . Mas absorve efectivamente nos comprimentos de onda de 18 μm e nos mais longos e é essencialmente transparente na faixa de 7 μm á 12 μm .

Este, com o oxigênio e o ozônio, respondem pela maior parte dos 19% da radiação solar que são absorvidos na atmosfera. O dióxido de carbono tem bandas de absorção na vizinhança de 2.7 a 4.2 μm e tem a absorção mais marcante em 14 μm e mais (Byers, 1974).

A Figura 8 mostra que na atmosfera, como um todo, nenhum gás absorve efectivamente radiação entre 0,3 μm e 0,7 μm , portanto, existe uma larga “janela”. Esta região do espectro corresponde ao intervalo visível, ao qual pertence uma grande fracção da energia solar.

Pode-se dizer que a atmosfera é transparente à radiação solar incidente, pois absorve apenas 19% de sua energia e que, portanto, esta não é um aquecedor eficiente da atmosfera.

A maior parte da absorção da radiação solar em comprimentos de onda no intervalo do infravermelho deve-se ao vapor de água e ocorre na troposfera, onde se encontra a maior concentração do vapor (Byers,1974).

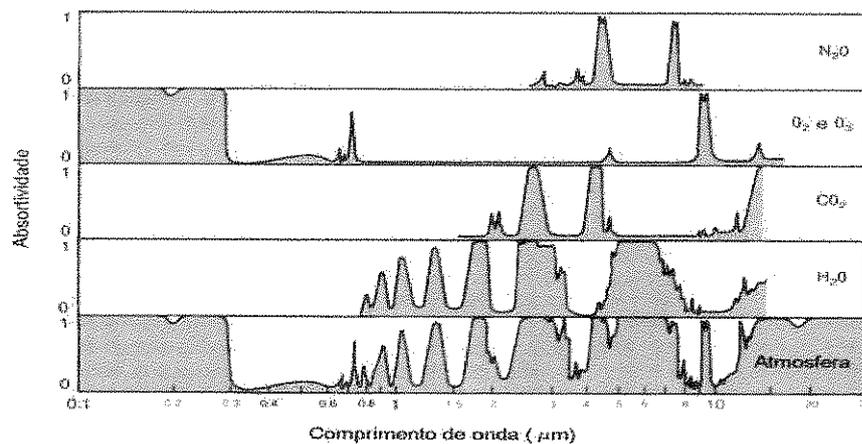


Figura 8. Absorvidade de alguns gases atmosféricos e da atmosfera como um todo (fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>)

A Figura 9 mostra o espectro da radiação solar que atinge a superfície da Terra com o Sol no zénite (altura = 90°) (curva inferior), juntamente com o espectro da radiação solar incidente no topo da atmosfera (curva superior) (<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>).

A área entre as duas curvas representa a diminuição da radiação devido a:

- 1) retroespalhamento e absorção por nuvens e aerossóis e retroespalhamento por moléculas do ar (área não sombreada) e
- 2) absorção por moléculas do ar (área sombreada).

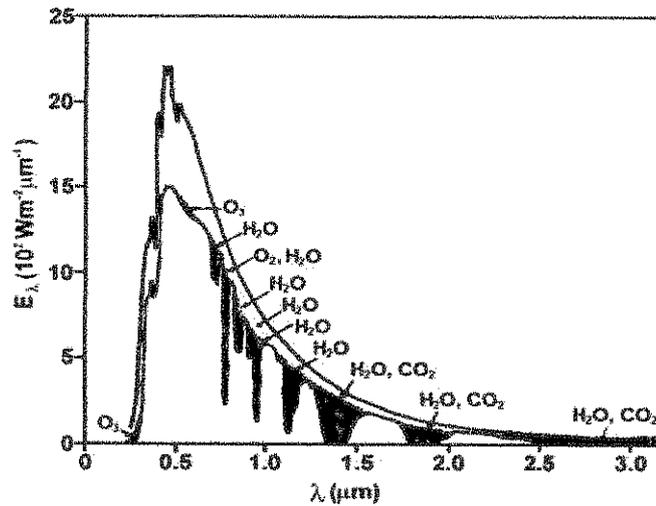


Figura 9. Espectro da radiação solar no topo da atmosfera (curva superior) e no nível do mar (curva inferior), para atmosfera média e sol no zénite (fonte: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.html>)

A atenuação da radiação directa pela atmosfera planetária pode ser representada demonstrando-se que um feixe monocromático de radiação ao atravessar um meio homogéneo e opticamente activo irá sofrer uma atenuação exponencial neste meio, segundo a fórmula (Lenoble,1993):

$$E_{\lambda} = E_{\lambda}^0 \exp (- \tau_{\lambda} \mu) \quad (5)$$

onde:

E_{λ} : irradiância espectral extraterrestre;

E_{λ}^0 : irradiância espectral na superfície terrestre;

τ_{λ} : espessura óptica total e

μ : massa óptica de ar.

2.9.4.2 Lei de Beer — Bouguer

O envelope atmosférico de gases que circunda a Terra absorve quantidades consideráveis da luz solar. Esta atenuação é uma função dos constituintes da atmosfera e, devido a absorção selectiva por estes constituintes, certos comprimentos de onda são mais afectados do que outros.

A lei de Beer - Bouguer descreve a redução da densidade de fluxo da luz solar como uma função da trajectória (profundidade) dentro do meio homogéneo absorvedor como se mostra na fórmula abaixo:

$$\frac{I_1}{I_0} = \exp(-kx) \quad (6)$$

onde, I_0 é a densidade de fluxo inicial da luz, I_1 é a densidade de fluxo após passar através da trajectória x do meio de coeficiente de extinção κ . A equação é facilmente adaptada a extinção da radiação solar na atmosfera, substituindo-se I_0 pela constante solar R_{sc} e I_1 , pela densidade de fluxo de radiação global R_s , então,

$$R_s = R_{sc} \exp(-\kappa_a \cdot x) \quad (7)$$

onde κ_a é o coeficiente de extinção atmosférica (Assis, 2002).

Por causa de vários fenómenos envolvidos, o coeficiente de extinção deve, exactamente, considerar as quantidades e características dos maiores materiais absorvedores e espalhadores, como gases, gotas de água, pó e outros. O coeficiente de extinção κ_a tem a forma tal qual proposta por Sutton(1953) (Assis, 2002):

$$K_a = a_g + sa_s + wa_w \quad (8)$$

onde a_g e a_s são os coeficientes espalhadores para as moléculas de ar (gasosas) e para partículas secas sólidas, respectivamente; a_w é o coeficiente de absorção para o vapor da água; s e w são as concentrações de conteúdos de pó e outros sólidos respectivamente.

Estes coeficientes são dependentes do comprimento de onda. O coeficiente de extinção atinge valores em torno de 0.01 km^{-1} no céu claro e 0.03 ou 0.05 km^{-1} do céu muito nublado.

Note-se que esses dois factores controlam a extinção da radiação solar.

Isto é, o comprimento da trajectória através da atmosfera, depende do ângulo de elevação solar e do azimutal, e dos efeitos de extinção devido aos gases atmosféricos, pó, vapor de água e outros materiais em suspensão(Assis e Escobedo,1996).

2.10 TRANSMISSÃO

A transmissão é o processo pelo qual a “ radiação é propagada através do meio. Esta é medida como a razão da radiação transmitida e da radiação total incidente sobre o meio”. A radiação electromagnética ao atravessar a atmosfera terrestre, uma parte significativa é absorvida e só uma pequena fracção desta é transmitida.

A figura 10 mostra que existe uma relação entre a absorção e a transmitância. Assim, se toda a luz passar através de uma solução sem nenhuma absorção (absorção zero), então a transmitância percentual será de 100%. Mas se toda a luz for absorvida, a transmitância percentual será zero, e a absorção será infinita (Andrews, 1987).

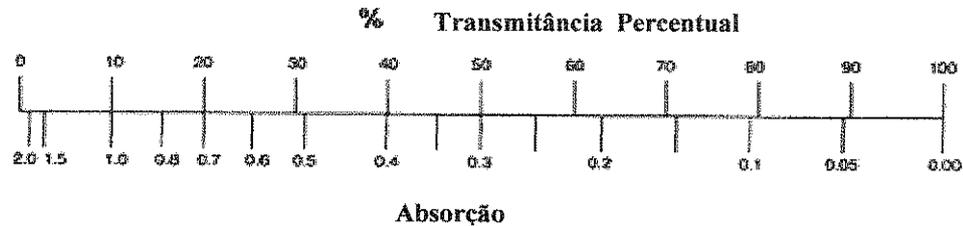


Figura 10. Diagrama da relação percentual entre a absorção e a transmitância (fonte: Andrews, 1987)

A quantidade das energias absorvidas e transmitidas por gases diferentes é mostrada pelo gráfico abaixo.

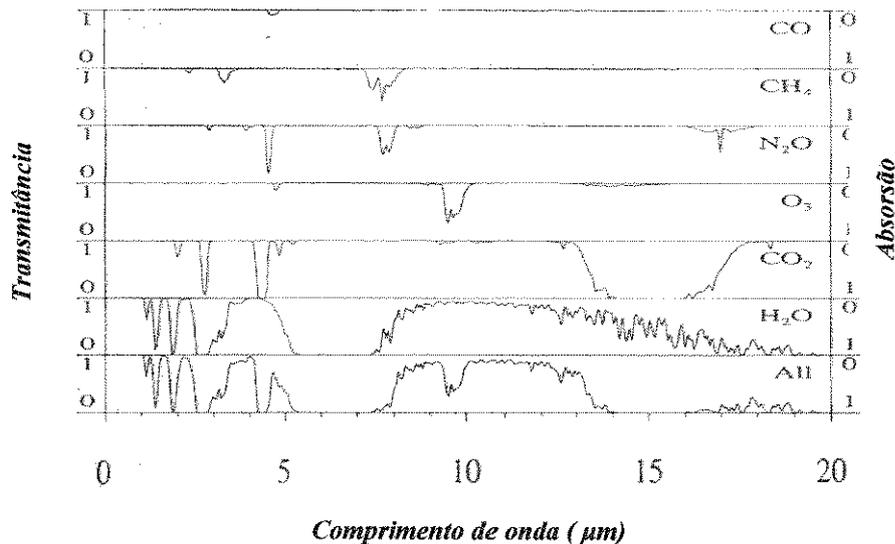


Figura 11. O Espectro de absorção e transmissão na região do infravermelho por seis gases absorvedores (fonte: Andrews, 1987)

A aplicação da fotometria para estimar a extinção atmosférica pela 1ª vez teve origem em 1725, com Pierre Bouguer. Ele usou a lua como fonte de radiação para medir a transmitância da atmosfera pela fórmula:

$$T = e^{-\beta \cdot l / \cos \varphi} \quad (9)$$

Onde T é a transmitância, β é o índice óptico do material em questão, l é a espessura da atmosfera e φ é o ângulo da radiação primária incidente medida a partir de zénite. O produto $\beta \cdot l$ é chamado de turbidez. A transmissividade da atmosfera varia de 0 á 1, onde o 0 corresponde a atmosfera perfeitamente opaca e 1 a atmosfera perfeitamente transparente. Esta expressão é chamada de lei de Bouguer (Dubois,1998).

Turbidez é definida como “ qualquer condição da atmosfera que reduz sua transparência à radiação, especialmente a radiação visível “. Normalmente, o termo é aplicado a porção livre de nuvens. O pó, o vapor da água, e todos os materiais em suspensão afectam a turbidez da atmosfera (Assis, 2002).

A espessura óptica da atmosfera é uma medida e um parâmetro importante de poluição do ar atmosférico, radiação atmosférica e dos campos climatológicos.

A radiação directa no topo da atmosfera $F_{\lambda}(\infty)$ é atenuada por várias moléculas e por aerossóis atmosféricos ao longo da sua trajectória para a superfície terrestre. $F_{\lambda}(0)$ é o fluxo de radiação atenuada nas proximidades da terra. A razão entre os fluxos incidente no topo da atmosfera e o atenuado, definem transmitância total da atmosfera (T) (DuBois,1998). A transmitância pode ser aproximada usando a lei de Bouguer de modo:

$$T = \frac{F_{\lambda}(0)}{F_{\lambda}(\infty)} = e^{-[\tau^R(\lambda) + \tau^M(\lambda)]\mu} \quad (10)$$

Onde o termo $\tau^R(\lambda)$ representa a profundidade óptica de Rayleigh, e é avaliada para ser 0.10599 (ao nível do mar), $\tau^M(\lambda)$ é a profundidade óptica do aerossol, μ é a massa óptica ar(sec φ ou $1/\cos$) e o φ é o ângulo solar do zénite.

Esta equação é equivalente à indicada primeiramente por Bouguer, salientando-se neste caso que o termo $\beta \cdot l$ é expandido para melhor compreender os componentes da extinção total que foram medidos pelo fotómetro solar.

Além disso, a profundidade óptica do aerossol pode ser expressa em termos do coeficiente da extinção de modo (DuBois,1998):

$$\tau^M(\lambda) = \int_0^{\infty} \beta_e(\lambda, z) dz \quad (11)$$

Onde $\beta_e(\lambda, z)$ é o perfil vertical do coeficiente da extinção do aerossol em função do comprimento de onda. A integral na equação da espessura óptica da atmosfera Eq.(10) integra desde a superfície da terra, $z = 0$, até ao alto da atmosfera em $z = \infty$.

Esta expressão é a mesma para o $\beta_{.l}$ na Eq. (10). A extinção é a soma da dispersão e da absorção. Assim, a expressão para $\beta_e(\lambda, z)$ pode ser expandida a:

$$\beta_e(\lambda, z) = \beta_s(\lambda, z) + \beta_a(\lambda, z) \quad (12)$$

Onde $\beta_s(\lambda, z)$ é o coeficiente de dispersão do aerossol e $\beta_a(\lambda, z)$ é o coeficiente de absorção do aerossol. O termo β_e é uma função complexa da composição da partícula, tamanho, índice de refração e da forma da partícula.

Considerando o comprimento de onda das medições e do conteúdo geral do aerossol, o contribuinte principal para a extinção é o dos aerossóis que se dispersam durante o período da medição (DuBois, 1998).

2.11 MASSA ÓPTICA DE AR

A massa óptica do ar é definida como um número, que expressa uma quantidade relativa de atmosfera entre o sol e o fotómetro solar. O tamanho da massa óptica de ar depende do ângulo do sol medido no tempo em que a leitura do fotómetro solar está sendo feita.

Se a medição fosse feita directamente abaixo do sol na posição **A**, o ângulo solar seria de 90° . Mas a medição é feita geralmente num ângulo medido do horizonte na posição **B**.

O trajecto da luz do sol é “inclinado” afastado da vertical, sendo este designado por “trajecto inclinado” como mostra a figura12 (<http://www-sage3.larc.nasa.gov/solar/images/sun-angle.gif>).

Existe maior “quantidade” da atmosfera entre o sol e o instrumento se a luz solar estiver seguindo um trajecto inclinado em vez do vertical. A relação destas quantidades de atmosfera é tida como massa óptica de ar (μ).

Supondo que não hajam gases ou aerossóis no espaço entre o sol e o topo da atmosfera terrestre, a massa óptica de ar no alto da atmosfera seria zero (<http://www-sage3.larc.nasa.gov/solar/images/sun-angle.gif>).

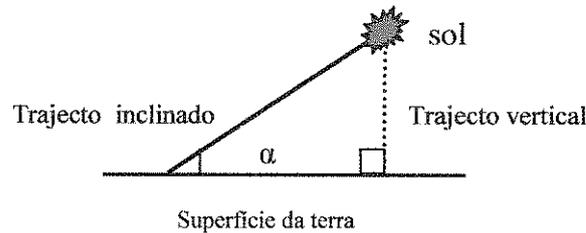


Figura 12. Definição da massa óptica do ar (Fonte: <http://www-sage3.larc.nasa.gov/solar/images/sun-angle.gif>)

A massa óptica de ar é determinada matematicamente usando a relação:

$$\sin(\alpha) = \frac{c.t.v}{c.t.i} \quad (13)$$

A massa óptica de ar é recíproca desta expressão, de modo que:

$$\mu = \frac{c.t.i}{c.t.v} = \frac{1}{\sin(\alpha)} \quad (14)$$

Onde α é o ângulo solar, $c.t.v$ e $c.t.i$ são os comprimentos dos trajectos vertical e inclinado respectivamente e μ é massa óptica do ar.

2.12 ESPESSURA ÓPTICA DOS AERROSSÓIS

A espessura óptica de aerossóis (*EOA*) foi e continua a ser um parâmetro modelar importante e mensurável na poluição de ar, radiação atmosférica e campos climatológicos.

A profundidade óptica do aerossol é a variável principal na descrição dos efeitos dos aerossóis em cálculos clássicos de transferência radioactiva. A definição mais rigorosa da *EOA* usada extensamente hoje traz uma física mais evoluída e será apresentada neste trabalho. Para medir a espessura óptica dos aerossóis, é preciso em primeiro lugar medir a intensidade da irradiação solar num período de várias horas (DuBois, 1998).

A radiação detectada pelo LED é enviada para os circuitos como foi visto na figura 2. Essa radiação é depois lida, na saída, por um voltímetro sob forma de tensão eléctrica (ftp://www.concord.Org/haze).

Os valores de tensão obtidos são usados para o cálculo da espessura óptica dos aerossóis (*EOA*) de modo

$$EOA = \frac{\ln(ET) - \ln(s.c.l - s.s.l) - 0.10599 \left(\frac{p}{p_0} \right) \mu}{\mu} \quad (15)$$

Onde *EOA* é a espessura óptica do aerossol, μ é a massa óptica do ar, *ET* é a constante extraterrestre, *s.c.l* e *s.s.l* são os sinais com e sem luz respectivamente e *p* e *p₀* são as pressões do local e do nível do mar respectivamente. E as pressões são dadas em milibares. O valor 0,10599 representa a espessura óptica de Rayleigh para o nível do mar.

Esta fórmula determina a quantidade da luz solar directa obstruída. Entenda-se que o fotómetro solar não foi concebido para funcionar continuamente ao ar livre e na radiação solar directa (DuBois, 1998).

2.13 CALIBRAÇÃO

O fotómetro solar pode ser calibrado usando o método de plotagem de LANGLEY que consiste em fazer medições da radiação solar na superfície da terra num dia com céu limpo e estável.

A lei de Beer, Eq.(5) pode ser usada para o cálculo da transmissão atmosférica, pode-se também aplicar uma linearização para obter uma estimativa da irradiância no topo da atmosfera e da espessura óptica total (Lenoble, 1993).

Dispondo-se de um conjunto de medidas de irradiância monocromática para um intervalo de massa de ar, pode-se extrapolar as medidas para encontrar a irradiância no topo da atmosfera. A intersecção da recta de regressão linear com o eixo das ordenadas e o módulo da inclinação da recta de ajuste é a espessura óptica total atmosférica (Lenoble, 1993). Ao linearizar-se a lei de Beer, Eq. (5) aplicando-se o logaritmo natural ela passa a ser dada de modo:

$$\ln(E_{\lambda}) = \ln(E_{\lambda}^0) - \tau_{\lambda} \cdot \mu \quad (17)$$

$$\tau_{\lambda} = \frac{\ln(E_{\lambda}^0) - \ln(E_{\lambda})}{\mu} \quad (18)$$

Esta equação representa a espessura óptica da atmosfera, que inclui a absorção por moléculas, aerossóis, vapor de água (τ^{H_2O}), espalhamento de Reyleigh (τ^{Rey}) e por aerossóis (τ^{aer}) e dependendo do canal pode incluir a absorção por ozono (τ^{Oz}) como mostra a Eq. (19).

$$\tau_{\lambda} = \tau^{aer} + \tau^{Rey} + \tau^{Oz} + \tau^{H_2O} \quad (19)$$

A equação de regressão é a de forma de uma equação linear dada de modo:

$$Y = A + B \times X \quad (20)$$

sendo que A e B são os coeficientes da recta de regressão linear, equivalendo ao logaritmo da irradiância extraterrestre e a espessura óptica total respectivamente (Queface, 2002).

Ao fazer a plotagem da tensão versus massa de ar constrõe-se o gráfico de regressão linear. A constante extraterrestre é obtida quando se extrapola o valor da massa óptica de ar no gráfico para zero.

Substituindo E_{λ} por V tensão lida no voltímetro e E_{λ}^0 por V_0 tensão que corresponde a constante extraterrestre (Queface, 2002), transforma-se a Eq.(17) para a forma:

$$\ln V = \ln V_0 - \tau \cdot \mu \quad (21)$$

O propósito principal de um fotômetro solar é o de determinar a espessura óptica dos aerossóis. Dado que se considera ausência de nuvens e da absorção pela coluna de ozono ou seja $\tau^{H_2O} e \tau^{Oz} = 0$

A Eq.(20) transforma-se para a forma (Queface, 2002):

$$\tau^{aer} = \tau_{\lambda} - \tau^{Rey} \quad (22)$$

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA

A montagem dos fotómetros solares foi feita no laboratório de electrónica do INAHINA localizado na baixa da cidade de Maputo. A escolha deste local tinha como finalidade o uso de algum equipamento adicional que não era disponível no Departamento de Física. Os trabalhos de montagem e testagem dos fotómetros iniciaram no dia 9 de Agosto de 2004 e terminaram no dia 28 de Setembro 2004, o que totalizou 38 dias úteis.

A realização do trabalho dividiu-se em duas etapas a saber:

- Desenho e montagem dos fotómetros solares,
- Testagem em laboratório e ao ar livre.

A metodologia escolhida para a montagem do fotómetro solar neste trabalho foi a descrita na montagem do circuito da figura 2 que consistia em três blocos fundamentais:

- Detector LED;
- conversor (amplificador operacional) de corrente eléctrica/ voltagem;
- Voltímetro.

Os díodos LEDs, o amplificador operacional LM741 de 8 pinos usados na construção dos fotómetros solares são da Radio Shack corp. Todos os díodos usados têm 5 mm de diâmetro. As características técnicas referem-se à temperatura de 25⁰C dos díodos LEDs são mostradas na tabela 4.

Tabela 4. Características dos LEDs usados nos fotômetros solares (fonte: Radio Shack)

Cor do LED	Tensão nominal (mV)	Potência dissipada (mW)	Luminosidade (mcd)	Corrente nominal (mA)	Pico máximo de emissão (nm)
Verde	2.1	Não disponível	6.3	25	Não disponível
Amarelo	3.0		55	Não disponível	585
Vermelho	2,6	60	10	28	650

3.2 MATERIAL NECESSÁRIO:

- Fotodíodos (amarelo, verde e vermelho);
- Amplificador operacional (LM741);
- Baterias de 9 voltes;
- Voltímetro digital;
- Estanho para soldar;
- Ferro de soldar;
- Fios de ligação de duas cores: preto e vermelho de 0.75mm^2 (≈ 8 metros);
- Interruptores;
- Cartolina preta,
- Lixa de ferro,
- 1 resistência de $3.9\text{M}\Omega$ x 0.25watts,
- Berbequim a pilhas,
- Cola tudo (super glue),
- Caixas de vídeo cassete e de áudio;
- Jogo de limas finas (rectangulares e redondas).

3.3 CONSTRUÇÃO DO FOTÓMETRO SOLAR

A construção de fotómetros manuais simples não requereu profundos conhecimentos em construções na área de electrónica. Estas instruções passo a passo mostram como foi possível construir o fotómetro solar manual apresentado neste trabalho, a saber:

- Colecta de todo material necessário;
- Preparação da caixa de cassete de vídeo VHS;
- Instalação do equipamento ;
- Preparação dos fios, do interruptor e do detector de luz (LED);
- Montagem do circuito;
- Verificação dos circuitos;
- Teste do funcionamento do fotómetro solar;
- Alinhamento o alvo ao sol.

3.4 PREPARAÇÃO DA CAIXA DE VIDEO CASSETE VHS

As instruções dadas aqui aplicam-se à caixa de vídeo cassete VHS específica descrita na lista de peças e ilustrada na Figura 13. Outras caixas também servirão se não forem demasiadas frágeis. Mas pode-se necessitar de alterar a posição das baterias e de outros artigos e deve-se ter em conta que a distância da extremidade do díodo LED a porta solar na caixa e o diâmetro da porta solar fiquem exactamente a 6.5 cm e 7.0 mm, respectivamente (<http://www.concord.org/haze/spbuildfig2.html>).

A primeira etapa consistiu em retirar todas partes dentro da caixa vídeo cassete, deixando apenas as partes de fixação dos parafusos. Depois da caixa estar limpa recortou-se a cartolina com as dimensões da mesma. Depois com a cola, a cartolina foi colada por fora da caixa. Este procedimento tinha como finalidade tornar a caixa mais hermética para não permitir que o instrumento pudesse medir também a radiação difusa.

A broca é melhor para fazer os furos, mas como a caixa de vídeo é muito macia, os furos podiam ser feitos com uma faca afiada. Mas deve-se ter muito cuidado ao fazerem-se furos com ela e evitar aplicar demasiada pressão à lâmina da faca.

1. A figura 13 mostra como foi colocada a placa impressa dentro da caixa. Colocou-se uma extremidade da placa impressa (circuito impresso) no interior do lado rígido da caixa. Deslizou-se a placa impressa ao longo do interior da caixa até que o seu lado superior estivesse exactamente a 7 cm da extremidade dianteira da caixa.

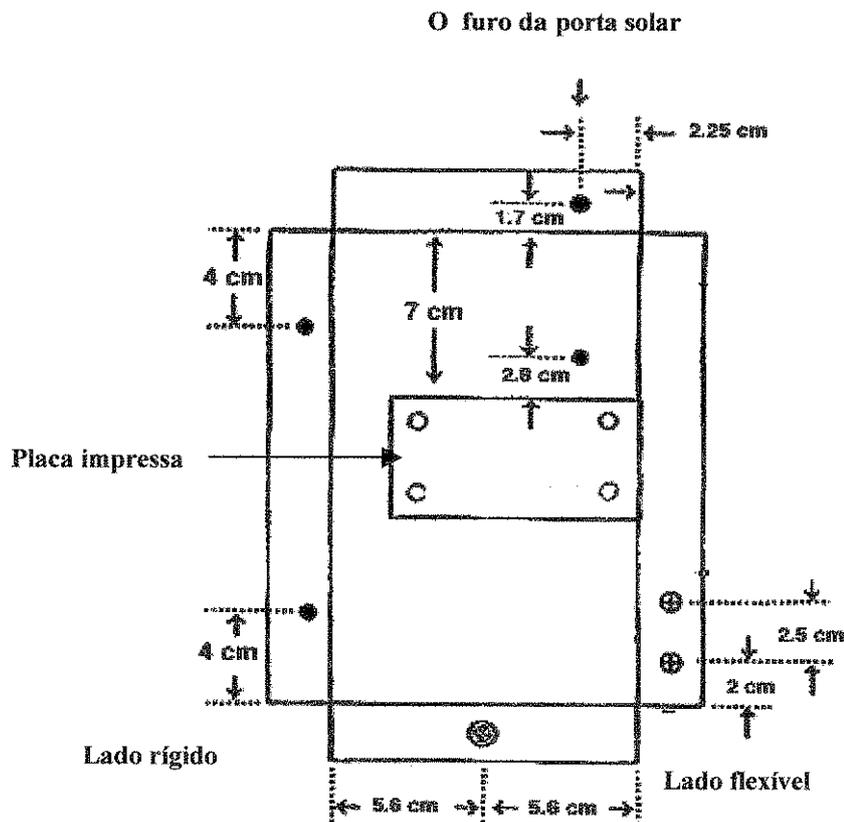


Figura 13 . Guia das perfurações para o fotômetro solar (fonte: <http://www.concord.org/haze/spbuildfig3.html>)

Da figura 13 fica-se a saber os diâmetros dos furos a serem feitos sobre a caixa de vídeo cassete VHS de modo:

- Parafuso de 1/8" ou 3 mm
- Parafuso de 5/32" ou 4 mm
- ⊕ Terminal
- ⊙ Interruptor
- Porta solar

2. Prende-se firmemente a placa impressa na posição apropriada, e com uma broca de 3/32 polegadas (ou seu equivalente métrico 2 mm) marcaram-se guias da broca no fundo da caixa para cada um dos quatro furos. Removeu-se a placa impressa e fizeram-se furos de 1/8 polegadas (3 mm) em cada uma das quatro guias da broca.
3. Fechou-se a caixa para as etapas seguintes. O lado superior da caixa é a tampa, orientou-se a caixa de modo que a tampa pudesse abrir para a esquerda. Isto significa que o lado flexível da caixa é o esquerdo e o lado rígido da caixa é o direito. Com a caixa orientada deste modo, marcou-se a parte superior da tampa para indicar a extremidade superior da caixa.
4. Recortou-se um pedaço de caixa áudio em forma de L para que este pudesse servir de suporte angular para incorporar-se nele o detector. Verificou-se a posição e fizeram-se marcas das guias da broca. Era muito importante que o lado do suporte fosse nivelado com a porta solar.
5. Marcaram-se guias centrais da broca a 2 e 4.5 cm da extremidade inferior do lado rígido da caixa para colocar os terminais de saída.
6. Com a caixa fechada, usou-se uma broca de 15/32 polegadas (12 mm) ou uma broca de 1/2 polegada ou seu equivalente métrico para fazer furos para os terminais de saída. Removeu-se o plástico remanescente unido às bordas de alguns dos furos, usando uma faca afiada.

3.5 INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO

Na montagem foram usados parafusos e porcas de tamanhos diferentes.

1. Usaram-se quatro parafusos e porcas para montar a placa impressa estanhada dentro da caixa como mostra a figura 14. As fileiras e as colunas dos furos na placa impressa foram numeradas. A placa estava alinhada de modo a que a coluna número 1 fosse a mais próxima, ao lado rígido da caixa. Introduziram-se os parafusos através do lado inferior da caixa.

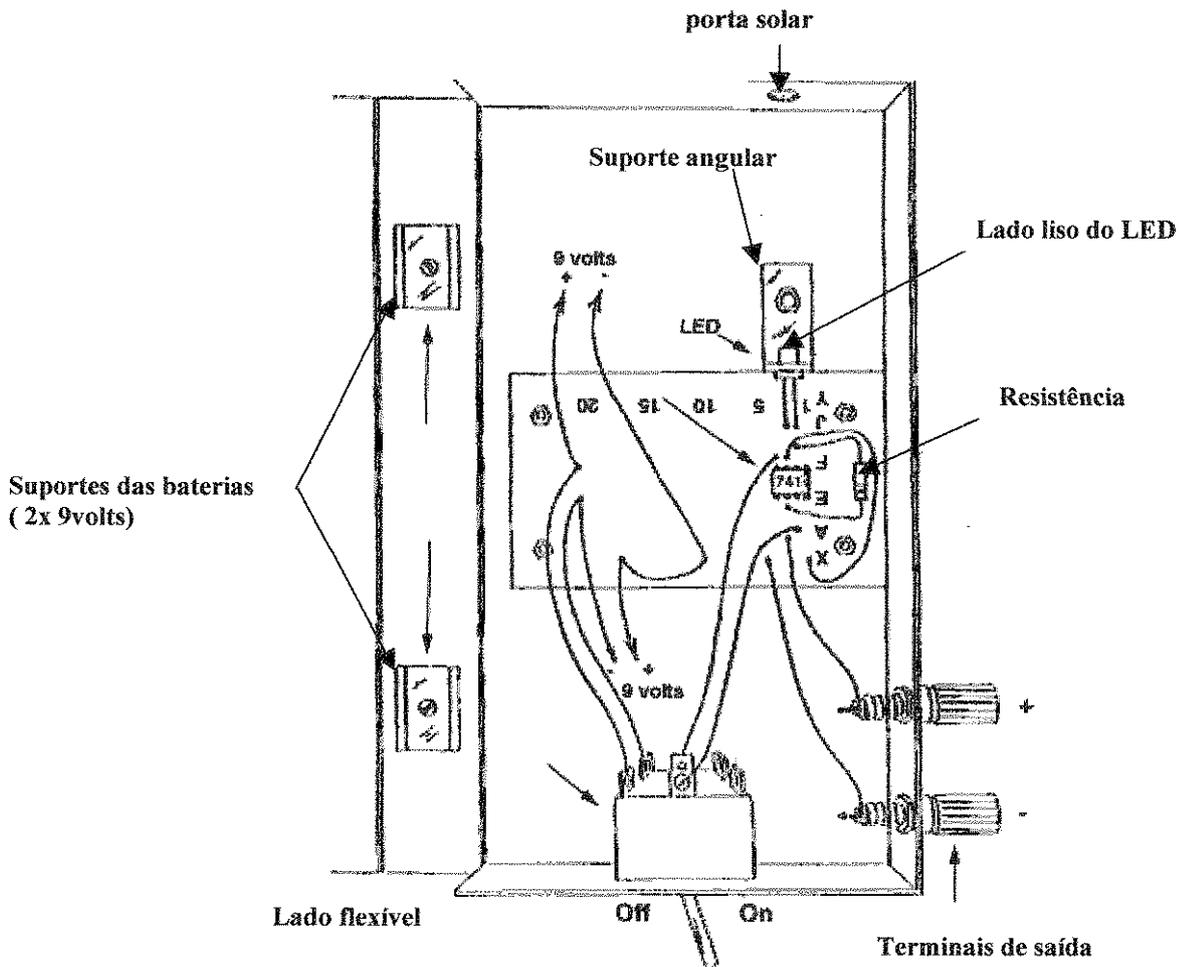


Figura 14. Disposição das peças e diagrama de instalação do fotômetro solar (fonte: <http://www.concord.org/haze/spbuildfig4.html>)

2. Colocou-se o suporte angular na frente da placa impressa como mostra-se na figura 15. Ajustou-se o suporte até que estivesse a 2.25 cm do interior do lado rígido da caixa. Os furos no suporte foram então alinhados com as colunas 2 e 3 da placa impressa.
3. Com o suporte angular empurrado ao nível da placa impressa, marcou-se uma guia da broca no fundo da caixa VHS no centro do furo no suporte. Orientou-se o suporte como mostra a figura 15.

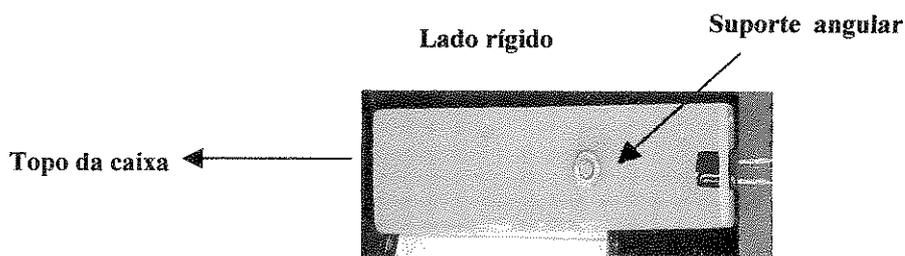


Figura 15. Suporte angular instalado dentro do fotómetro solar

4. Introduziu-se um parafuso através do lado traseiro da caixa no furo da extremidade do suporte angular. Certificou-se que a extremidade do suporte angular estava virada para acima e apertou-se o suporte na caixa. Com o suporte angular instalado dentro da caixa certificou-se que a tampa da caixa VHS fechava correctamente.
5. Mediu-se a distância exacta do centro do furo superior no suporte angular no interior do lado rígido da caixa (2.25 cm) e do fundo da caixa (1.7 cm). Marcou-se então uma guia da broca na parte dianteira da caixa que combinava exactamente com estas dimensões.
6. Instalaram-se os dois grampos das baterias de 9 volts no interior do lado flexível da caixa usando parafusos e porcas nas posições mostradas na figura 14. E por fim apertaram-se os parafusos e as porcas com uma chave de fenda e alicates.
7. Removeram-se as porcas que apertam os dois bornes. Introduziram-se as extremidades de cada borne nos furos mostrados na figura 14. Instalou-se o borne preto mais próximo da extremidade da caixa, mais tarde apertaram-se as porcas nos bornes com alicates.
8. A placa impressa soldada foi colocada sobre seus furos de montagem de modo a que a fileira dos furos designados por 1 estivesse ao lado do lado rígido da caixa. Introduziram-se parafusos através da parte traseira da caixa e apertaram-se no lugar com as porcas (<http://www.concord.org/haze/spbuildfig4.html>).

Antes de continuar foi preciso parar por um momento para rever o que já tinha sido feito. A verificação consistiu em saber:

- Se o suporte angular estava em nível com a porta solar que se encontra no topo da caixa?
- Se todas as porcas estavam apertadas?
- E se a caixa fechava correctamente?

3.6 PREPARAÇÃO DOS FIOS

Foram necessários mais ou menos 4 metros de fios de conexão.

Podiam usar-se fios de uma cor, mas foi mais conveniente usar de duas cores. A preparação dos fios consistiu no seguinte:

1. Corte dos fios:
 - fios de 7 cm: 2 vermelhos e 1 preto;
 - fios de 9 cm: 1 vermelho e 2 pretos;
 - fios de 10 cm: 1 vermelho e 1 preto.
2. Em seguida, foi feita a remoção de aproximadamente 5 mm de isolamento de ambas as extremidades dos 2 fios de 7 cm. Mais tarde, removeram-se aproximadamente 5 mm do isolamento somente no fim de cada um dos fios restantes.
3. Finalmente, removeram-se aproximadamente 12-15 mm do fio da segunda extremidade dos fios restantes. Depois foi a verificação dos fios para se certificar de que foram cortados correctamente e elegantemente.

3.7 PREPARAÇÃO DO INTERRUPTOR

Mais tarde foi necessário unir 2 fios aos terminais do interruptor.

1. Usou-se uma chave estrela para apertar os 2 parafusos e fixar o interruptor na caixa de vídeo.
2. Era preciso não perder de vista os 4 fios preparados previamente. Os comprimentos dos fios não eram tão rigorosos:
 - Um fio vermelho e um preto de 9 cm cada;
 - Um fio vermelho e um preto de 20 cm cada;

3. A extremidade exposta de cada fio foi enrolada numa anilha de chapa para a conexão nos terminais de saída como mostra a figura 14.

Para que estes não se soltassem mais tarde, envolveu-se a anilha com o fio e depois aplicar o estanho em torno delas.

3.8 PREPARAÇÃO DO DETECTOR DE LUZ (DIODO LED)

Os fotómetros solares baseados em díodos emissores de luz não são projectados para a exposição contínua à luz solar. A saída dos díodos emissores de luz é sensível à temperatura e este circuito simples não contém nenhuma provisão para a compensação da temperatura.

Foi necessário remover e aplainar a extremidade arredondada do díodo LED que funciona como uma lente, com o objectivo de minimizar o aquecimento solar no elemento activo conduzido através desta lente e simplificar o apontar do instrumento ao sol.

Existem duas razões para que se aplane a extremidade do díodo detector. Primeira, a extremidade de um díodo emissor de luz age como uma lente. Esta lente pode focalizar bastante a luz solar na micro plaqueta do díodo emissor de luz e fazer com que esta seja danificada.

E segunda, o instrumento será mais difícil de apontar exactamente se não se remover a lente do díodo emissor de luz. Aplainando a extremidade do LED com uma lixa ou lima o instrumento pode ser apontado ligeiramente afastado do centro do sol e ainda fornecer dados úteis.

A preparação do detector consistiu em:

1. Colocar um pedaço de lixa de ferro numa superfície plana. Prender o díodo LED e friccionou-se a sua extremidade para frente e para trás de encontro à lixa até que a secção arredondada estivesse inteiramente removida;

2. Manter o díodo na vertical e friccionar a sua extremidade numa lima até que a sua extremidade estivesse perfeitamente lisa e em nível.

Mais tarde, limpar à extremidade do díodo LED, para afastar toda a poeira plástica.

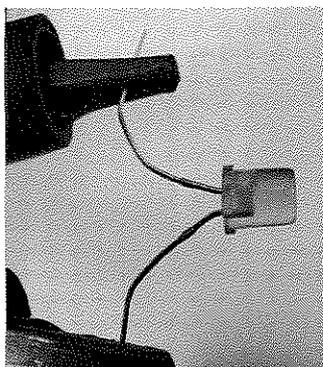


Figura 16. Díodo LED com a extremidade final aplainada

3.9 MONTAGEM DO CIRCUÍTO

Quando a montagem do fotómetro solar estava quase completa, foi necessário seguir, com cuidado, cada uma das etapas restantes para evitar erros.

1. Verificar os fios pretos de 9 cm e vermelho de 7 cm respectivamente preparados previamente. Estanhou-se na extremidade exposta de 12-15 mm de cada fio ao preparar o interruptor.
2. Os fios vermelho e preto enrolaram-se cada um deles numa anilha e colocaram-se sobre o terminal do borne vermelho e o terminal do borne preto respectivamente .
3. O amplificador operacional LM 741 foi instalado na placa impressa, onde o pino 1 teve de ser instalado na posição F1 na placa impressa. Baixou-se delicadamente o circuito integrado (IC) até que os seus pinos estivessem introduzidos firmemente nos seus furos. Verificar se todos os 8 pinos estavam introduzidos correctamente. Se um pino se dobrasse e não estivesse instalado, seria necessário remover delicadamente o IC, e usar um alicate para endireitá-lo e outra tentativa.
4. As ligações do díodo LED foram marcadas directamente na placa impressa. Orientou - se o díodo LED de modo a que a parte lisa estivesse o mais próximo da direcção da porta solar e dobraram-se os pernos (ânodo e cátodo) num ângulo recto.

Desenho e Construção de um Fotômetro Solar Manual Simples

5. Introduziu-se a extremidade do díodo LED através do furo superior do suporte angular junto à placa impressa e mais tarde introduziram-se suas ligações nos furos J2 e J3. Foi necessário verificar se a ligação mais próxima da parte lisa no díodo LED estava introduzida no furo J2. Pressionou-se a parte traseira do díodo LED ao encontro do suporte angular.
6. Introduziu-se um fio preto de conexão entre os furos G3 e X1.
7. Introduziram-se os 2 fios de ligações da resistência nos furos H2 e D3.
8. Introduziu-se o fio vermelho do terminal de saída vermelho no furo A3. E introduziu-se o fio preto do terminal de saída preto no furo X5.
9. Instalou-se o interruptor no furo do fundo da caixa e com os parafusos e cola foi apertado sobre a caixa.
10. Introduziram-se os fios preto e vermelho do interruptor nos furos G4 e B2 respectivamente.
11. As ligações dos fios para conectar as baterias de 9 volts não permaneceram necessariamente introduzidas nos furos da placa impressa. Introduzir o fio preto de um dos conectores de uma das baterias no furo E23. Forçou-se, então, o fio preto do interruptor no mesmo furo. Introduziu-se o fio vermelho da mesma maneira que conector de bateria de 9 volts no furo X19. Forçou-se uma extremidade do fio vermelho de conexão no mesmo furo.
12. Introduziu-se a ligação preta do segundo conector da bateria 9 volts no furo X11. Forçou-se então a segunda extremidade do fio vermelho da conexão (o primeiro fio de que se introduziu previamente no furo X19) no mesmo furo (X11).
13. Introduziu-se a ligação vermelha do segundo conector da bateria 9 volts no furo F23, e forçou-se a ligação vermelha do lado esquerdo do interruptor no mesmo furo. Ajustou-se o fotômetro solar e fez-se o exame antes de continuar. O alinhamento do alvo ao sol ver em anexo.

3.10 VERIFICAÇÃO DOS CIRCUÍTO S DENTRO DO FOTÓMETRO SOLAR

Era absolutamente essencial que todos os fios e peças estivessem correctamente instalados. Pois de contrário, os circuitos poderiam danificar-se e as baterias descarregar-se-iam rapidamente. Usou-se uma lista para verificar e certificar-se de que se tinha instalado tudo correctamente.

Foi necessário verificar se:

1. O pino 1 do amplificador operacional estava introduzido no furo F1?
2. A ligação mais próxima do lado plano do díodo LED estava instalado no furo J2?
3. A resistência estava conectado entre os furos H2 e D3?
4. O fio preto da “ligação em ponte” estava entre os furos X1 e G3?
5. O fio da ligação vermelha central do interruptor ia ao furo B2? O fio da ligação preta central do interruptor vai ao furo G4?
6. Estava lá um fio vermelho da “ligação em ponte” entre os furos X11 e X19?
7. Os fios vermelhos de um dos grampos da bateria de 9 volts e do interruptor iam fazer ligação no furo F23?
8. O fio preto da ligação do grampo acima da bateria ligava-se ao furo X11?
9. O fio preto do segundo dos grampos da bateria de 9 volts e o segundo fio preto do interruptor iam fazer ligação no furo E23?
10. O fio vermelho do segundo grampo da bateria ia fazer ligação no furo X19?
11. O terminal de saída (fio vermelho) ia fazer a ligação no furo A3? O terminal (fio preto) de saída ia fazer a ligação no furo X5?

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Seguindo a metodologia descrita no capítulo antecedente foram construídos três fotómetros solares com os LEDs de cor verde, amarela e avermelha. O uso de detectores com diferentes comprimentos de onda tem como objectivo detectar a maior parte da região visível do espectro solar e permitir uma avaliação de partículas de diferentes tamanhos.

4.1 TESTE DE FUNCIONAMENTO DO CIRCUITO

Uma vez construído o fotómetro solar foi necessário testá-lo. O teste ao fotómetro só foi feito depois de se verificar que todo o equipamento estava correctamente ligado para correcção de possíveis erros ou falhas ocorridos durante a montagem. O teste do fotómetro seguiu os seguintes passos:

1. Verificar se o interruptor funcionava correctamente, ou seja, se ele ligava e desligava o circuito.
2. Testar se a tensão proveniente das 2 baterias de 9 volts mostradas na figura 17 se alimentava o circuito.
3. Verificar se o valor da resistência mantinha o seu valor inicial para evitar maiores quedas de tensão na mesma e deste modo influenciar o ganho do circuito.
4. Analisar se o amplificador estava perfeitamente estanhado sobre a placa impressa, evitando deste modo fugas de tensão de alimentação do mesmo e de saída do fotómetro.

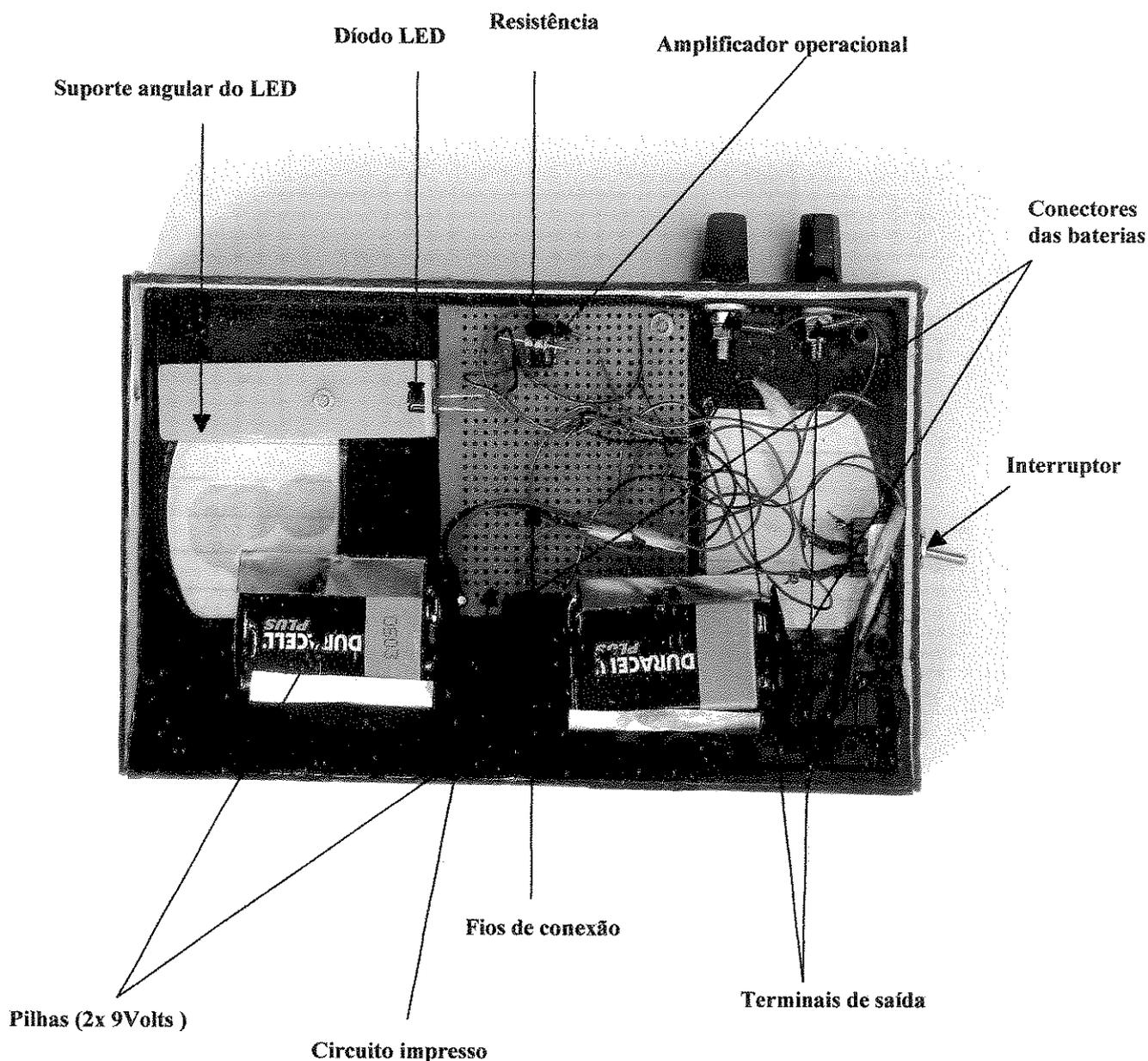


Figura 17. Interior do fotômetro solar com todo material instalado

4.2 TESTAGEM DO FOTÔMETRO SOLAR

Depois de verificar que todos os elementos que constituem o fotômetro solar estavam correctamente instalados e estava devidamente alimentado pela corrente eléctrica seguiu-se o teste do seu funcionamento, a saber :

1. Medir com um voltímetro digital (preferencialmente) a tensão nos terminais de saída do circuito na ausência da fonte de luz sobre o detector. O voltímetro é o leitor de tensão.
2. Depois mediu-se a tensão de saída do circuito na presença fonte de luz sobre o detector. Neste caso usou-se uma lâmpada incandescente que incidiu-se sobre o detector (LED).
3. Como resultado o voltímetro registou uma tensão de aproximadamente 2 voltes. Se a tensão ultrapassasse esse valor seria necessário desligar imediatamente o interruptor e remover os conectores das baterias para rever com cuidado toda a fixação até se encontrar a fonte do problema. Este teste foi feito inicialmente com o LED de cor verde repetiu-se o mesmo procedimento com os outros LEDs, vermelho e amarelo.
4. Depois de testes do funcionamento do fotômetro solar no laboratório, seguiu-se o teste ao ar livre com o sol como fonte de luz. A medição da radiação solar com o fotômetro foi feita nos dias de céu limpo para evitar a influência pelas nuvens. O feixe de luz que incidiu sobre o detector LED entrou no fotômetro através da porta solar como mostra a figura 18 e a tensão lida pelo voltímetro aumentou.

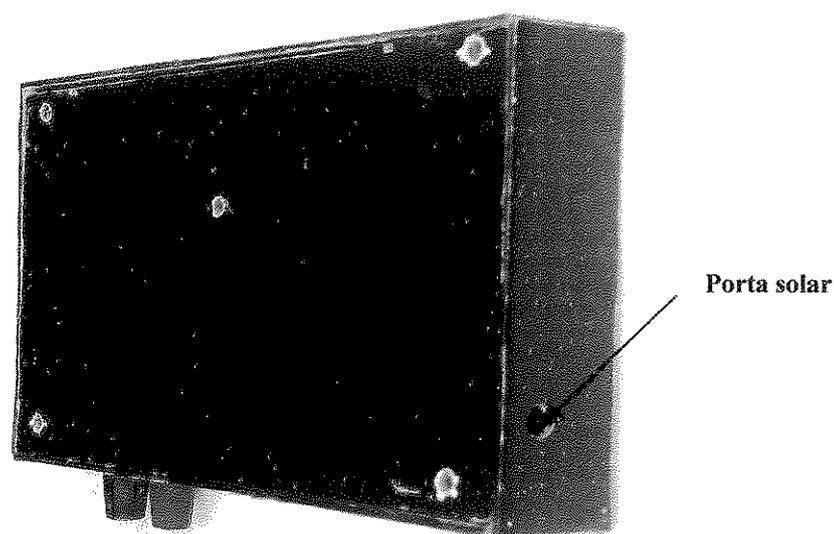


Figura 18. A porta solar do fotômetro solar

5. Para testar a fiabilidade dos fotômetros foram seleccionados dados referentes a dois dias de medições, ou seja, dados colhidos pelos fotômetros com LEDs de cor amarela e verde nos dias 30 de Julho e 1 de Setembro de 2004. Os resultados das medições são apresentados nas tabelas 5, 6, 7 e 8 e são discutidos no capítulo seguinte.

Tabela 5. Dados do dia 30/08/04 obtidos com o LED amarelo

Tempo(horas)	Tensão medida (V)	Tensão sem luz (V_0)	$V - V_0$
8h 21min	1.218	0,230	0.988
8h 51min	1.275		1.045
9h 21min	1.156		0.926
9h 51min	1.201		0.971
10h 21min	1.268		1.038
10h 51min	1.293		1.063
11h 21min	1.298		1,068
11h 51min	1.305		1,075
12h	1.269		1,039

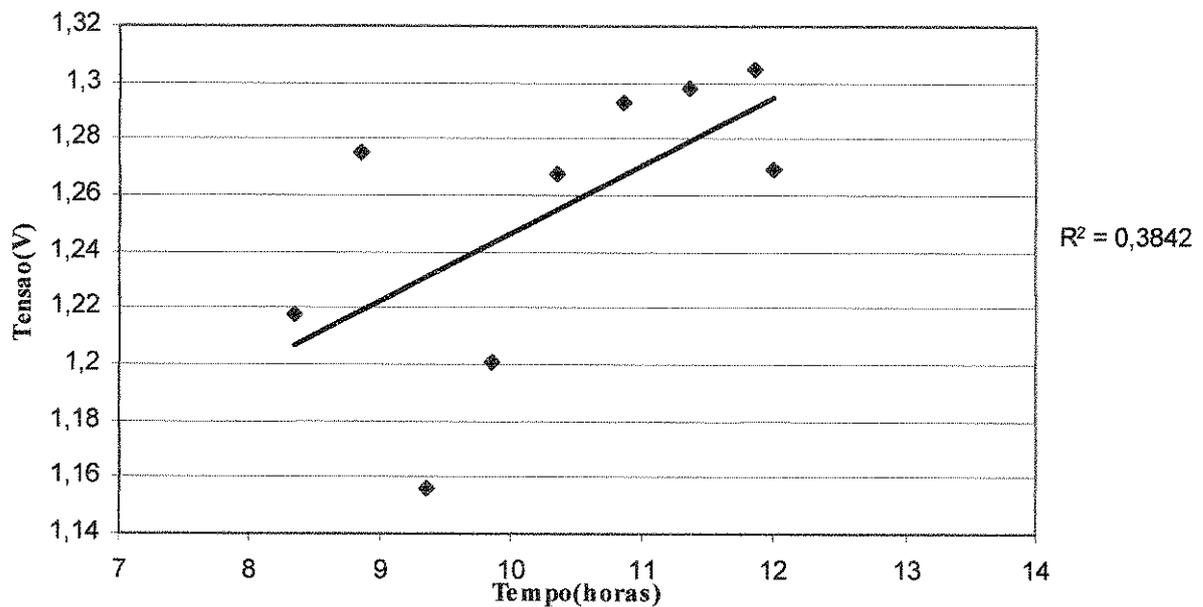


Figura 19. Relação da tensão em função do tempo dos dados do dia 30/08/04 para LED amarelo

Tabela 6. Dados do dia 30/08/04 obtidos com LED verde

Tempo(horas)	Tensão medida (V)	Tensão sem luz (V_0)	$V - V_0$
8h 37min	1.269	0,230	0.997
9h 07min	1.309		1.037
9h 37min	1.285		1.013
10h 07min	1.323		1.051
10h 37min	1.328		1.056
11h 07min	1.324		1.052
11h 37min	1.333		1.061
12h 07min	1.338		1.066

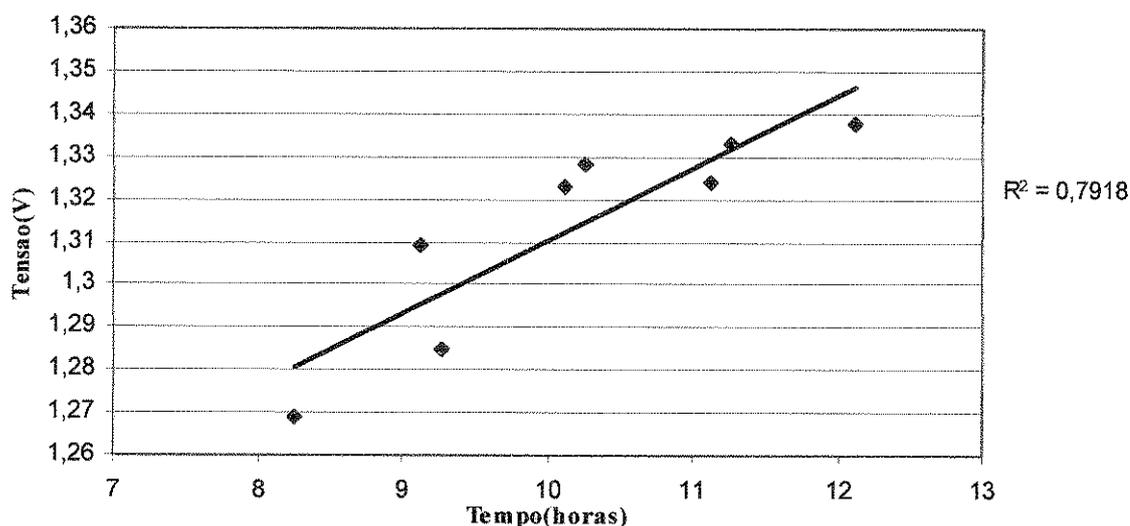


Figura 20. Relação da tensão em função do tempo dos dados do dia 30/08/04 para LED verde

As tabelas 5 e 6 mostram os dados obtidos pelos LEDs amarelo e verde no dia 30 de Agosto de 2004 e nota-se o valor da tensão aumentava a medida que a radiação aumentava, isto é, no decorrer do tempo. Mas ia surgindo algumas flutuações no valor de tensão.

O exemplo destas flutuações temos para o díodo amarelo temos um decréscimo de tensão mais notório as 9h21min e as 9h37min para o LED verde e regista-se que este teve maior estabilidade em relação ao amarelo.

Tabela 7. Dados do dia 01/09/04 obtidos com LED amarelo

Tempo (horas)	Tensão medida (V)	Tensão sem luz (V_0)	$V - V_0$
6h 45min	1.222	0,230	-0.992
7h 15min	1.274		1.044
7h 45min	1.280		1.050
8h 15min	1.289		1.059
8h 45min	1.250		1.020
9h 15min	1.257		1.027
9h 45min	1.291		1.061
10h 15min	1.272		1.042
10h 45min	1.314		1.084
11h 15min	1.229		-0.999
11h 45min	1.279		1.049
12h 15min	1.379		1.147
12h 45min	1.371		1.141

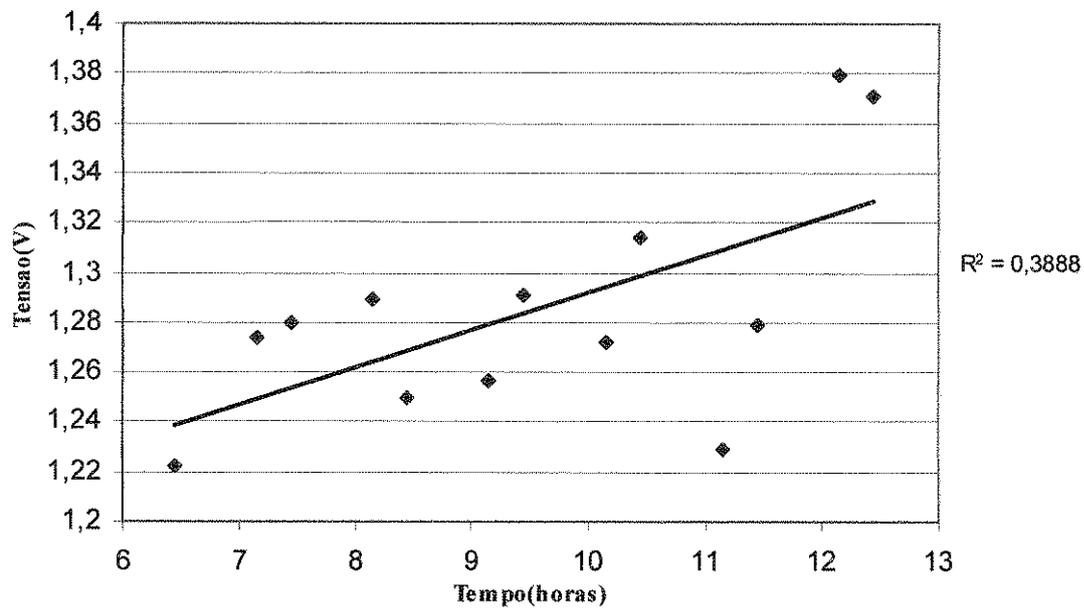


Figura 21. Relação da tensão em função do tempo dos dados do dia 01/09/04 para LED amarelo

Tabela 8. Dados do dia 01/09/04 obtidos com LED verde

Tempo(horas)	Tensão medida (V)	Tensão sem luz (V_0)	$V - V_0$
6h 42min	1.211	0.272	0.939
7h 12min	1.283		1.011
7h 42min	1.304		1.032
8h 12min	1.310		1.038
8h 42min	1.316		1.044
9h 12min	1.320		1.048
9h 42min	1.320		1.048
10h 12min	1.324		1.052
10h 42min	1.327		1.055
11h 12min	1.308		1.036
11h 42min	1.327		1.055
12h 12min	1.328		1.056
12h 42min	1.324		1.052

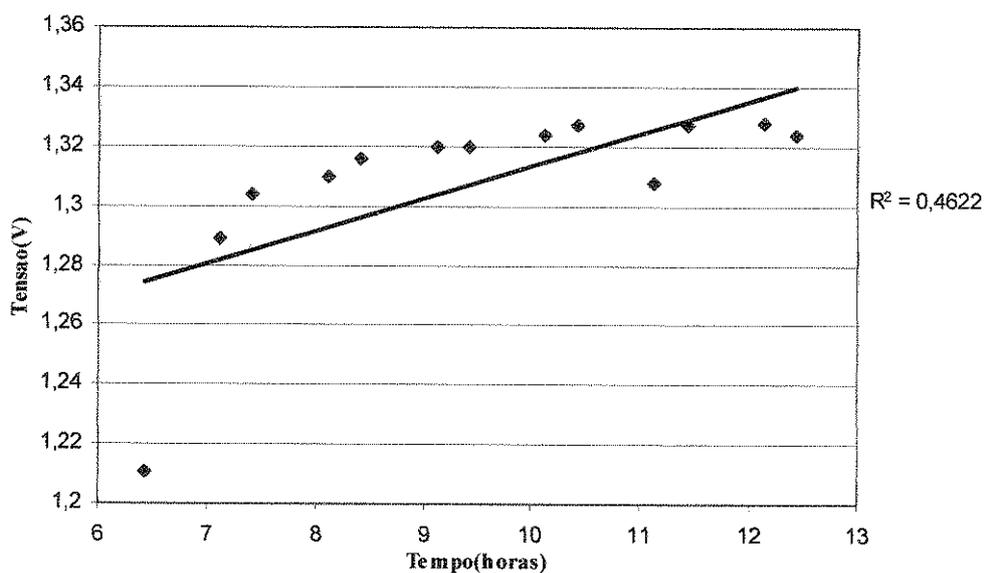


Figura 22. Relação da tensão em função do tempo dos dados do dia 01/09/04 para LED verde

Para o dia 1 de Setembro de 2004 o LED amarelo teve flutuações pouco significativas enquanto que o LED verde teve flutuações nos valores registados com a maior a acontecer 1h12min. No cômputo geral o LED verde apresentou maior estabilidade de valores registados em relação ao LED amarelo. E estas flutuações são analisadas em detalhe no capítulo seguinte.

4.3 FLUTUAÇÕES DOS DADOS

Dos dados obtidos verifica-se que a variação temporal das medições ia correspondendo a uma variação no valor da tensão lida pelo fotómetro solar. Isto é, a medida que aumentava a radiação solar, o valor de tensão lida pelo instrumento também aumentava.

Mas é importante notar que surgiram dificuldades no alinhamento manual do detector do fotómetro solar ao sol. Esta dificuldade fez com que surgissem algumas flutuações nos valores de tensão em alguns momentos de medição.

4.4 FONTES DO RUÍDO

Na análise da saída do fotómetro solar durante o funcionamento, haverão outras flutuações na tensão de saída que não foram analisadas neste trabalho visto que seriam de difícil detecção. Estas flutuações podem ser originadas por diversas fontes eléctricas. Assumiu-se que a tensão de saída colectada durante um dia sem nuvens não varia apreciavelmente (menos de 1%) durante vários segundos. Esses ruídos electrónicos podem provir de:

- 1) Acoplamento capacitivo dos fios dentro do fotómetro solar,
- 2) Acoplamento indutivo dependente e proporcional à corrente,
- 3) Problemas de massa(terra),
- 4) Dependência da temperatura no desempenho do diódo emissor de luz e
- 5) Ruídos térmicos da resistência.

Algumas notas importantes sobre os estados sólidos desses detectores ópticos mostram que estes são sensíveis à temperatura. Nestes estados sólidos os dispositivos, tais como os LEDs, têm sensibilidades diferentes do comprimento de onda em várias temperaturas.

Este problema seria colmatado medindo-se a temperatura do detector ou construir um tipo de controle de temperatura dentro do instrumento.

As flutuações da temperatura do instrumento devem ser mantidas num mínimo, colocando-o numa caixa plástica branca.

A primeira versão deste instrumento consistiu no revestimento da parte electrónica dentro de uma caixa cinzento-clara de metal, mas a temperatura da superfície da caixa tornou-se visivelmente quente quando comparada com a do plástico branco.

A variação da temperatura na parte electrónica complica a discussão de erros quantitativos na medição, dado que não foi medida dentro do revestimento do instrumento.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

As capacidades de inovação e de investigação contrapuseram a exiguidade de recursos materiais. Os díodos LEDs apesar de serem concebidos para emitirem a luz nos comprimentos de onda específicos, eles podem ser usados com sucesso como detectores de radiação como ficou demonstrado ao longo do trabalho.

Neste trabalho foi possível desenhar e construir três fotómetros solares que usam LEDs de cores verde, vermelho e amarelo como detectores, recorrendo a material bastante acessível.

A relação entre a tensão em função do tempo mostra que quanto maior for a radiação incidente maior será o valor da tensão lida pelo voltímetro.

Durante os testes e medições dos fotómetros solares surgiram flutuações de tensão de saída. E estas flutuações variam com o comprimento de onda do detector. O detector que apresentou maior instabilidade de tensão de saída foi o LED vermelho.

RECOMENDAÇÕES

O fotómetro solar é um instrumento e uma ferramenta importante no estudo e análise de problemas ambientais, neste caso concreto na área de poluição atmosférica. Porque com estes instrumentos pode-se medir a radiação solar incidente e com os dados obtidos se pode determinar a atenuação da radiação solar no seu percurso desde o alto da atmosfera até a superfície terrestre.

Com esta análise pode-se determinar as propriedades ópticas da atmosfera tais como espessura óptica da atmosfera e a dos aerossóis, tamanho e concentração destas partículas na atmosfera, e avaliar deste modo até que ponto estas partículas afectam o meio ambiente.

É por tudo isto que se recomenda a continuação dos estudos e com a investigação para melhorar a eficiência destes fotómetros solares.

Neste trabalho não foi possível determinar as respostas espectrais dos detectores, dado que os LEDs não detectam nos mesmos comprimentos de onda de emissão, o que se recomenda para futuros trabalhos.

Recomenda-se um estudo para que os instrumentos no futuro tenham um voltímetro acoplado para uma leitura directa e um sistema de memória para guardar dados.

Durante a testagem dos instrumentos surgiu a dificuldade de apontar do instrumento ao sol e a determinação experimental do ângulo solar o que pode ter propiciado alguns erros na sua determinação analítica. E deste modo recomenda-se que seja acoplado um sistema de alinhamento dos fotómetros solares ao sol.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1 BIBLIOGRAFIA

Assis, S.V., Agrometeorologia, Universidade de Pelotas, 2002

Assis, S.V., e Escobedo, J.F., Radiações solar global e difusa em estufas com orientações norte-sul e leste-oeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996.

Andrews, D.G.; An Introduction to atmospheric Physics, *Cambridge University press*, 1987.

Byers, H.R.; General Meteorology, 1974.

DuBois, D.; Measurement of Aerosol Optical Thickness Using a Narrow Band Sun Photometer, 1998.

Lenoble, J., Atmospheric Radioactive transfer, ADEEPA, *Publishing Hampton*, 1993.

Carlson, S., When hazy skies are rising. *Scientific American: The amateur scientist*, May 1997 .

Dereniak, E.L., and Crowe D.G., Optical radiation and detectors, John Wiley & Sons, NY, 1984.

Walsh, Photometry, 1958

Sze, S.M., Physics of semiconductor devices. 2nd Edition, John Wiley & Sons, NY, 1981.

Queface, A.J., Atmospheric Aerosol Loading off the east coast of Southern Africa, Tese de Mestrado, Universidade de Witwatersand (África do Sul), 2002.

6.2 SITES CONSULTADOS

http://www.achetudoeregiao.com.br/poluição_do_ar.htm

<http://www.Atmospheric Research Experiment.html>

<http://www.brantacan.co.uk/scattering.htm>

[http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Ar%20\(4\).htm](http://www.brasil.terravista.pt/albufeira/1950/Ar%20(4).htm)

<http://www.concord.org/haze/what.html>
<http://haze.concord.org/spworks.html>
<http://www.concord.org/haze/spbuildparts.html>
<http://www.concord.org/haze/spbuildfig2.html>
<ftp://concord.Org/haze/vhs1-download>
<http://www.globe.gov/fsl/html/templ>
<http://www.fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-2.html>;
<http://www.fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-7.htm>
<http://www.infocefet.hpg.ig.com.br/index.html>
http://www.lrsm.upenn.edu/~frenchrh/mie_scattering.html
<http://www.larc.nasa.gov/>
<http://www.philiplaven.com/p2.html>
<http://www.severewx.com/Radiation/transmission.html>
<http://www-sage3.larc.nasa.gov/solar/images/sun-angle.gif>
<http://www.sciam.com/0597issue/0597amsci.html>
<http://www.scienceworld.wolfram.com/physics/RayleighScattering.html>
<http://www.severewx.com/Radiation/scattering.html>
<http://www.severewx.com/Radiation/absorption.html>
<http://www.severewx.com/Radiation/reflection.html>
<http://www.sosterravida.hpg.ig.com.br/poluicao.html>
http://www.tierramerica.net/2000/0813/losa_bias.html
<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2intro.html>
[http://www.2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/wwhlpr/miescattering.rxml?hret=/indexlist.rxml](http://www.2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/wwhlpr/miescattering.rxml?hret=/indexlist.rxml)

ANEXOS

MANUTENÇÃO DO FOTÓMETRO SOLAR

Com vista a garantir maior tempo de vida ao instrumento, recomendam-se alguns pontos importantes para conservação do fotómetro solar a saber:

1. O instrumento deve-se armazenar dentro de um saco plástico selado para manter o detector da luz solar (LED) fora do contacto com poeira.
2. A resposta do díodo muda ligeiramente com temperatura pois o plástico preto da caixa do fotómetro solar aquece rapidamente quando exposta a luz solar. E, deste modo, deve-se manter o instrumento coberto, embrulhado e posteriormente guardado numa caixa até que se planeia usar imediatamente.
3. NUNCA se deve deixar o fotómetro solar exposto a luz solar.
4. NUNCA se deve deixar o fotómetro solar dentro de um carro ou de uma mala do carro num dia quente (ensolarado).
5. As baterias devem durar um ano inteiro ou mais no uso normal a menos que se esqueça de desligar o instrumento quando não é usado. Se o instrumento parecer errático (irregular) ou não responder bem à luz solar, deve-se usar o voltímetro e verificar as tensões das baterias. Substituir as baterias quando a sua tensão cair abaixo de aproximadamente 7 volts.

Deve-se verificar a calibração do fotómetro solar usando o método de Langley num dia de céu limpo. Manter um registo cuidadoso das calibrações para determinar o quanto muda a constante ET.

ALINHAMENTO DO ALVO AO SOL

Quando se aponta a parte frontal do fotómetro solar para o sol, a luz solar entrará na caixa através da porta solar. A luz solar brilhará também no suporte angular através do furo mais próximo à extremidade da caixa.