

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**Trabalho de Licenciatura**

*Avaliação da Intensidade de Radiação Solar Ultravioleta  
Global na Cidade de Maputo – uma Ferramenta para a  
Saúde Pública*

**Autor:** André Silvestre Cuinica



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**Trabalho de Licenciatura**

*Avaliação da Intensidade de Radiação Solar Ultravioleta  
Global na Cidade de Maputo – uma Ferramenta para a  
Saúde Pública*

**Autor:** André Silvestre Cuinica

**Supervisor:** dr. Marcelino Macome

**Co-supervisores:**

- dr. Daniel Quissico
- Prof. Dr. Boaventura Cuamba

Maputo, Junho de 2007

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus **pais**

*Verónica A. Uqueio e Silvestre Cuinica,*

meus **irmãos,**

à minha **esposa** *Adelaide Jango*

e à minha **filha** *Shirley*

*André Silvestre Cuinica*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que directa ou indirectamente me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho de licenciatura, em especial:

- Ao meu supervisor dr. Marcelino Macome pela grande ajuda na escolha do tema, o que despertou em mim grande interesse e gosto em desenvolvê-lo. A ele vão os meus merecidos votos de agradecimento pelo profundo conhecimento passado, pela brilhante orientação e pela incansável paciência que sempre teve no desenrolar deste trabalho;
- Ao meu co-supervisor dr. Daniel Quissico pela orientação e pelo apoio em material didáctico dados;
- Ao meu co-supervisor Prof. Doutor Boaventura Cuamba pelo conhecimento profundo passado;
- Aos senhores Gomes e Jaime, técnicos do INAM pela dedicada participação na montagem de radiómetros para a colecta de dados comparativos da UV;
- Aos funcionários da Biblioteca de Física pela compreensão e boa disposição na requisição de obras;
- Aos meus amigos e colegas de carteira dr. Arnaldo Simbine, dr. Luís Chongue, António Langa, Tomás Nhabetse, Basílio Tamele, Marcolino Massango, Félix Chavane, Grácio Mondlane, Zália Madhagi, Lourdes Mahossana, Ernesto Cumbi, Hercílio Munguambe, irmãos Macuiane, Macheque, Zimbico e outros, pelo conhecimento compartilhado, amizade e apoio moral sobretudo em momentos críticos, sem me esquecer também do grande contributo dado pela vizinhança da Polana Caniço;
- À minha família, a todos os meus irmãos, cunhadas e sobrinhos pelo carinho que sempre me proporcionaram, pela crença na importância do estudo e na luta pelo grau académico pretendido;
- Aos meus pais, Silvestre e Verónica e minha avó Delfina por serem a razão da minha existência;
- À família Uqueio especialmente à “vovó Nhaca” e tio Orlando pela ajuda na vida e orgulho de mim;
- À família Django que soube entender a minha situação estudantil perante minhas responsabilidades;
- À minha querida Adelaide Django pelo carinho e amor oferecidos em todos os momentos da vida.

Meus votos de agradecimentos estendem-se:

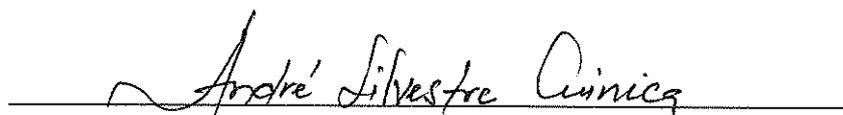
- Ao Departamento de Física da UEM em particular ao Laboratório de Energias Renováveis pelo interesse do trabalho e aceitável recolha de dados para a sua realização;
- Ao INAM em especial o Depto. da Radiação Solar pela ajuda dada no uso dos seus equipamentos;
- Ao Governo Provincial de Gaza, através da sua Comissão de Bolsas pelo auxílio financeiro;
- Ao Governo Francês, através do Ministério de Educação e Cultura (Moçambique) pelo apoio dado.

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Declaro por minha honra que o relatório do trabalho de licenciatura aqui apresentado é da minha autoria, fruto da minha pesquisa e leitura e que este nunca antes fora submetido nesta Universidade nem noutra, sob o meu conhecimento, para a atribuição do grau de licenciatura ou outro e os resultados obtidos constituem a mais perfeita realidade.

**Maputo, Junho de 2007**

**O autor**



A handwritten signature in black ink, reading "André Silvestre Cuinica", is written over a horizontal line.

**(André Silvestre Cuinica)**

## **RESUMO**

A radiação solar ultravioleta (RS-UV) é a parte da radiação solar que constitui a banda dos comprimentos de onda curta entre 0.1 e 0.4  $\mu\text{m}$ . O conhecimento da variabilidade desse parâmetro meteorológico é de suma importância para as actividades agrícolas, industriais, comerciais, médicas e de turismo de uma dada região, sobretudo no que diz respeito à saúde pública. Com efeito, este estudo visa aprimorar o conhecimento dos reais níveis de intensidade de RS-UV que chega à Cidade de Maputo. Para tal, servindo-se dos dados da RS-UV, medidos com radiómetro da UV global da Eppley – modelo TUVR, na estação do Departamento de Física, no período de Junho a Novembro de 2006, procurou-se avaliar o comportamento diário desse elemento tendo em conta condições de céu limpo, parcialmente encoberto e nublado. Foram igualmente avaliadas as médias aritméticas de alguns dias representativos e as médias aritméticas mensais. Portanto, de acordo com os resultados obtidos nesta região, a intensidade de RS-UV é variável ao longo do dia, crescendo com a hora do dia até atingir valores máximos próximo das 12 horas locais e decrescendo até ao ocaso, sobretudo em dias de céu limpo. Os máximos obtidos nessas circunstâncias situaram-se entre 20 e 50  $\text{Wm}^{-2}$ . Em dias de céu coberto de nuvens esses níveis foram bastante oscilatórios e reduzidos na ordem de 50 a 80%, agindo deste modo a cobertura nebulosa como um escudo atenuante da RS-UV, embora não na totalidade. O intervalo de tempo crítico observado dos altos riscos à exposição dessa radiação durante o dia é o das 9 às 15 horas. Quanto às médias aritméticas diárias verificou-se que em dias sob condições de céu limpo a intensidade aumenta durante todo o período em estudo (variando de cerca de 13 a 28  $\text{Wm}^{-2}$ ) enquanto que em dias sob condições de céu coberto de nuvens a RS-UV varia de forma aleatória dado à dependência da qualidade, quantidade, espessura das nuvens, etc. Notou-se que as médias aritméticas mensais da intensidade de radiação solar ultravioleta crescem ligeiramente de Junho a Novembro com 13.51  $\text{Wm}^{-2}$  de mínima e 17.85  $\text{Wm}^{-2}$  de máxima. Os valores relativamente baixos de RS-UV observam-se durante o período de Junho a Agosto e os relativamente altos, durante o período de Setembro a Novembro, podendo ainda serem mais altos entre os meses de Dezembro e Fevereiro. Assim, é importante tomar as devidas precauções com respeito aos danos que podem ser provocados pela RS-UV, desde os problemas de vista aos da pele.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2.1:</b> Gráfico da distribuição espectral da radiação solar.....	9
<b>Figura 2.2:</b> Diagrama demonstrativo do espectro solar e das sub-regiões da parte Ultravioleta.....	11
<b>Figura 2.3a:</b> Esquema dos movimentos de rotação da Terra e de translação à volta do Sol.....	13
<b>Figura 2.3b:</b> Inclinação do eixo de rotação – a principal causa das estações.....	15
<b>Figura 2.4:</b> Variação da altura do Sol com a latitude.....	19
<b>Figura 2.5:</b> Ângulo zenital.....	19
<b>Figura 2.6:</b> Toxidade das radiações ultravioletas.....	26
<b>Figura 2.7:</b> Gráfico do espectro da acção eritêmica.....	28
<b>Figura 2.8:</b> Radiómetro de Radiação Ultravioleta Total - Eppley.....	36
<b>Figura 4.1:</b> Gráficos da variação da RS-UV, medida em Maputo sob condições de céu limpo para o período de Junho a Agosto.....	42
<b>Figura 4.2:</b> Gráficos da variação da RS-UV, medida em Maputo sob condições de céu limpo para o período de Setembro a Novembro .....	43
<b>Figura 4.3:</b> Gráficos da variação da RS-UV, medida em Maputo sob condições de céu parcialmente encoberto para os meses de Junho, Agosto e Outubro de 2006.....	45
<b>Figura 4.4:</b> Gráficos da variação da RS-UV, medida em Maputo sob condições de céu nublado para os meses de Junho, Agosto e Outubro de 2006.....	47
<b>Figura 4.5:</b> Gráficos das médias aritméticas diárias de RS-UV sob as condições de céu limpo, parcialmente encoberto e nublado, medidas na estação radiométrica entre Junho e Novembro de 2006.....	48
<b>Figura 4.6:</b> Gráfico das médias aritméticas mensais de RS-UV medida na estação radiométrica entre Junho e Novembro de 2006.....	49
<b>Figura A.1:</b> Esquema de absorção da radiação solar ultravioleta na presença de lente tratada.....	59
<b>Figura A.2:</b> Fio do tecido com o inibidor UV.....	59
<b>Figura A.3:</b> Tecido com a protecção UV, não existe buracos na trama (textura) .....	59

## **LISTA DE TABELAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabela 2.1:</b> Espectro UV e a sua atenuação pelo ozono atmosférico.....	18
<b>Tabela 2.2:</b> Tipos de pele e a respectiva sensibilidade a UV.....	27
<b>Tabela 2.3:</b> Principais tipos de pele e os valores de Dose Eritémica Mínima correspondente.....	29
<b>Tabela 2.4:</b> Categorias de Intensidade de RS-UV.....	30
<b>Tabela 2.5:</b> Factor de Modificação das Nuvens para diferentes tipos de nuvens.....	31
<b>Tabela 2.6:</b> Um guia simples para aplicação das medidas de protecção.....	35
<b>Tabela A.1:</b> Alguns coeficientes de emissividade para algumas superfícies e/ou materiais.....	56
<b>Tabela A.2:</b> Duração de insolação em função de latitude nas diferentes estações do ano.....	56
<b>Tabela A.3:</b> Vinte (20) questões e respostas sobre a radiação solar ultravioleta.....	57

## ACRÓNIMOS

<b>Ago</b> – Agosto	<b>Jul</b> – Julho
<b>C</b> – Celsius	<b>Jun</b> – Junho
<b>Cap.</b> – Capítulo	<b>K</b> – Kelvin
<b>c.d.o</b> – Comprimento de onda	<b>kg</b> – Quilograma
<b>CFCs</b> – Clorofluorcarbonos	<b>km</b> – Quilómetro
<b>CIE</b> – Commission Internationale d’Eclairage	<b>M</b> – Molécula
<b>cl</b> – Céu limpo	<b>m</b> – Metro
<b>cm</b> – Centímetros	<b>MED</b> – Dose Eritémica Mínima
<b>CMF</b> – Factor de Modificação das Nuvens	<b>Met</b> – Meteorologia
<b>cn</b> – Céu nublado	<b>min</b> – Minutos
<b>CO<sub>2</sub></b> – Dióxido de carbono	<b>m...</b> – Mili...
<b>cpe</b> – Céu parcialmente encoberto	<b>n</b> – Dia do ano
<b>C Maputo</b> – Cidade de Maputo	<b>N</b> – Norte
<b>Depto</b> – Departamento	<b>N</b> – Número de horas do dia solar
<b>DNA</b> – Ácido Desoxirribonucleico	<b>nb</b> – Nanobares
<b>E</b> – Este	<b>Nov</b> – Novembro
<b>F</b> – Fahrenheit	<b>N<sub>0</sub></b> – Número de moléculas por unidade de volume
<b>Fig.</b> – Figura	<b>OMS</b> – Organização Mundial de Saúde
<b>FPS</b> – Factor de protecção solar	<b>Out</b> – Outubro
<b>g</b> – Grama	<b>O<sub>2</sub></b> – Oxigénio
<b>H e hr</b> – Horas	<b>O<sub>3</sub></b> – Ozono
<b>H<sub>2</sub>O</b> – Água	<b>rad</b> – Radianos
<b>ho</b> – Energia do fotão	<b>RS-UV</b> – Radiação solar ultravioleta
<b>INAM</b> – Instituto Nacional de Meteorologia	<b>s</b> – Segundo
<b>IR</b> – Infravermelho	<b>S</b> – Sul
<b>IUV</b> – Índice ultravioleta	<b>Sec.</b> – Secção
<b>IUV<sub>0</sub></b> – Índice ultravioleta a céu limpo	<b>Set</b> – Setembro
<b>I<sub>λ</sub></b> – Irradiância espectral	<b>S<sub>λ</sub></b> – Irradiância eritémica
<b>J</b> – Joules	

<b>T</b>	– Temperatura
<b>Tab.</b>	– Tabela
<b>UEM</b>	– Universidade Eduardo Mondlane
<b>UVA</b>	– Radiação ultravioleta A
<b>UVB</b>	– Radiação ultravioleta B
<b>UVC</b>	– Radiação ultravioleta C
<b>VIS</b>	– Visível
<b>W</b>	– Watts
<b>Z'</b>	– Ângulo zenital
<b><math>\delta</math></b>	– Declinação solar
<b><math>\Delta H</math></b>	– Diferença de altitude
<b><math>\Delta\lambda</math></b>	– Variação do comprimento de onda
<b><math>\varepsilon</math></b>	– Emissividade
<b><math>\varepsilon_\lambda</math></b>	– Eficiência eritêmica
<b><math>\lambda</math></b>	– Comprimento de onda
<b><math>\lambda_{\max}</math></b>	– Comprimento de onda à máxima energia
<b><math>\mu\text{m}</math></b>	– Micrómetro
<b><math>\pi</math></b>	– Constante pi
<b><math>\rho_0</math></b>	– Densidade
<b><math>\sigma</math></b>	– Constante de Stephan-Boltzman
<b><math>\sigma_R</math></b>	– Coeficiente de dispersão de Rayleigh
<b><math>\varphi</math></b>	– Latitude
<b><math>\omega</math></b>	– Ângulo horário
<b><math>\Omega</math></b>	– Velocidade angular
<b>°, ', "</b>	– graus, minutos, segundos
<b>%</b>	– por cento
<b>~</b>	– aproximadamente

## **ÍNDICE**

<b>Título</b>	<b>Pág.</b>
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	iv
RESUMO.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
ACRÓNIMOS.....	viii

## **CAPÍTULO 1**

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>4</b>
1.1 OBJECTIVOS.....	5
1.1.1 Objectivo Geral.....	5
1.1.2 Objectivos Específicos.....	6
1.2 MOTIVAÇÃO.....	6

## **CAPÍTULO 2**

<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>8</b>
2.1 RADIAÇÃO SOLAR.....	8
2.2 RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA.....	12
2.3 VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA.....	12
2.3.1 Movimentos de Rotação e Translação da Terra.....	13
2.3.1.1 Duração da Insolação.....	14
2.3.1.2 Estações do Ano.....	15
2.3.2 Ozono Atmosférico.....	16
2.3.2.1 Processos Fotoquímicos de Formação de Ozono.....	16

2.2.3 Latitude.....	18
2.3.4 Elevação Solar.....	19
2.3.5 Altitude do Lugar.....	20
2.3.6 Difusão na Atmosfera.....	21
2.3.7 Cobertura Nebulosa.....	22
2.3.9 Reflexão na Superfície.....	22
<b>2.4 EFEITOS BIOLÓGICOS.....</b>	<b>23</b>
2.4.1 Radiação Solar Ultravioleta e a Saúde.....	24
2.4.2 Espectro de Acção.....	27
2.4.3 Dose Mínima para o Eritema (Rubor Cutâneo).....	29
2.4.4 O Índice UV – um Parâmetro para o Público.....	30
2.4.5 Exposição ao Sol.....	32
2.4.6 Algumas Medidas Preventivas Contra a Radiação Solar Ultravioleta.....	33
<b>2.5 MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA.....</b>	<b>36</b>
2.5.1 O Radiómetro da Radiação Solar Ultravioleta Global – Modelo TUVR.....	36

### **CAPÍTULO 3**

<b>EXPERIÊNCIA E METODOLOGIA.....</b>	<b>38</b>
3.1 INSTALAÇÃO DOS RADIÓMETROS.....	38
3.1.1 Localização da Instalação.....	39
3.2 DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA.....	39

### **CAPÍTULO 4**

<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
4.1 DIAS DE CÉU COMPLETAMENTE LIMPO.....	42
4.2 DIAS DE CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO.....	44
4.3 DIAS DE CÉU NUBLADO.....	46
4.4 MÉDIA ARITMÉTICA DIÁRIA DA RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA.....	48

4.6 MÉDIA ARITMÉTICA MENSAL DA RADIACÃO SOLAR ULTRA-VIOLETA ..... 49

## **CAPÍTULO 5**

**CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 51**

5.1 CONCLUSÕES ..... 51

5.2 RECOMENDAÇÕES ..... 52

## **CAPÍTULO 6**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 53**

**ANEXOS ..... 55**

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

A radiação solar é um importante factor natural do clima da Terra influenciando significativamente o ambiente. É uma onda electromagnética cujo espectro é dividido em três partes principais nomeadamente, a parte ultravioleta (UV), visível (VIS) e infravermelha (IR). A parte ultravioleta do espectro solar desempenha um papel determinante em muitos processos na biosfera. Ela participa no processo de fotossíntese das plantas, é usada na produtividade primária dos seres aquáticos, na medicina para tratamento de raquitismo e algumas doenças de pele no ramo de Dermatologia, nos processos industriais para enriquecimento do leite e ovos com vitamina D, além de que, só por si, a radiação solar UV proporciona a formação da vitamina D no organismo humano quando a exposição aos raios UV não é prolongada. Embora possua certos efeitos benéficos, se a quantidade de radiação solar ultravioleta (RS-UV) exceder os limites de “segurança”, i.e., limites a partir dos quais os mecanismos de defesa inerentes a cada espécie se tornam ineficazes, danos graves, a nível biológico (por exemplo, órgãos da pele e da visão), poderão ser causados.

A radiação ultravioleta corresponde a uma pequena faixa do espectro electromagnético compreendida entre  $\sim 0.1$  e  $\sim 0.4 \mu\text{m}$  (Pereira, 2005), que é comumente dividida em três sub-regiões, a saber:

- A sub-região compreendida entre os comprimentos de onda de  $\sim 0.1$  e  $\sim 0.28 \mu\text{m}$ , conhecida como UVC. É completamente absorvida pelo Oxigénio ( $\text{O}_2$ ) e Ozono ( $\text{O}_3$ ) estratosférico e com isso não atinge a superfície terrestre;
- A sub-região compreendida entre os comprimentos de onda de  $\sim 0.28$  e  $\sim 0.32 \mu\text{m}$  denominada por UVB. Sofre forte absorção pelo  $\text{O}_3$  estratosférico, ou seja, há uma certa quantidade da radiação solar UVB que atinge a superfície terrestre. Absorvida em grandes doses, pode ser prejudicial à saúde humana, podendo causar dolorosas queimaduras e, a longo prazo, o cancro de pele (Pereira, 2005).
- A sub-região compreendida entre  $\sim 0.32$  e  $\sim 0.4 \mu\text{m}$ , denominada por UVA. Nesta sub-região a radiação sofre pouca absorção pelo  $\text{O}_3$  estratosférico e por isso atinge a superfície terrestre e é necessária para sintetizar a vitamina D (Pereira, 2005). Contudo, a UVA é a mais

perigosa, pois é a mais penetrante no corpo humano e o excesso à sua exposição pode causar danos aos olhos, queimaduras e envelhecimento precoce (Filho, 2005).

Um dos principais factores que influenciam na maior intensidade de radiação solar ultravioleta na Terra é a redução da camada de ozono pela grande acção dos poluentes no planeta (tal é o caso dos clorofluorcarbonos – CFCs), facto sobre o qual se deu o primeiro alerta em 1985 pelo cientista inglês John Farman. Descobertas indicam que a cada 1% de diminuição da camada de ozono, o número de pessoas com cataratas aumenta anualmente de 0,6 à 0,8%, ou seja, cerca de 110 a 160 mil novos casos a cada ano no mundo (Filho, 2005).

O conhecimento do comportamento (variação temporal e espacial) do nível da radiação solar ultravioleta na superfície, pode permitir que se evitem lesões agudas e crónicas resultantes da exposição à UV, através de acções de sensibilização pública no sentido de limitar a exposição e adopção de medidas de protecção contra os efeitos nocivos de RS-UV.

A radiação solar ultravioleta torna-se mais perigosa nas latitudes baixas, ou seja, segundo Silva (2005), latitudes entre 30° N e 30° S. Moçambique localiza-se na região inter-tropical entre os paralelos de 10° e 26° Sul, ora é dentro das latitudes baixas onde teoricamente os níveis de UV são altos. Para que se tenha um dado real é necessário uma avaliação de níveis desta radiação a partir da análise de dados observados nas estações radiométricas de modo que se tomem medidas preventivas contra os danos à saúde pública. Por outro lado, para alguns pesquisadores esta avaliação poderá constituir uma ferramenta na percepção da variação de concentração de ozono na atmosfera.

## **1.1 OBJECTIVOS**

### **1.1.1 Objectivo Geral**

O presente trabalho tem como objectivo geral avaliar os níveis de radiação solar ultravioleta que chega à superfície na cidade de Maputo, através de medições no período compreendido entre Junho e Novembro do ano 2006.

### **1.1.2 Objectivos Específicos**

Para tornar praticável a realização deste trabalho, o objectivo geral encontra-se dividido em três (3) objectivos específicos nomeadamente:

1. Analisar a variação diária da intensidade da radiação solar ultravioleta que chega à superfície de Maputo;
2. Verificar o intervalo de tempo crítico diário sob o qual grandes quantidades de radiação solar ultravioleta chegam à superfície causando significativamente perigo na saúde pública;
3. Determinar os valores médios mensais para o período em análise de modo a encontrar o comportamento que melhor caracteriza a radiação solar ultravioleta nesta região do país;

## **1.2 MOTIVAÇÃO**

A radiação solar ultravioleta (RS-UV) foi descoberta em 1801 pelo físico alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810). No mundo, tornou-se um tópico de crescente preocupação na comunidade científica por volta dos anos 70 (século 20), aquando das observações sobre a tendência global de redução do ozono atmosférico e do fenómeno do buraco de ozono antártico. Tais observações visavam a possibilidade de haver um aumento na intensidade de RS-UV na superfície terrestre. Todavia, em Moçambique a avaliação de níveis de RS-UV que chega à superfície, surge pela primeira vez com a concretização do presente trabalho.

Moçambique é um País em vias de desenvolvimento e cuja actividade principal é a agricultura. Estima-se que a maior parte da população rural pratica esta actividade, chegando a permanecer cerca de horas e horas expostas aos raios solares sem observância de nenhuma medida de protecção. A população urbana não é indiferente a este facto, pois grande número vive de comércio informal trabalhando exposto ao sol. É também comum, no dia-a-dia ver pessoas que se expõem ao banho solar alegando possível produção da vitamina D. Por um lado, um simples facto de estar na praia a apanhar brisa ou praticar actividades recreativas ao ar livre mesmo em dias nublados, já se está vulnerável à exposição da RS-UV.

O tempo de exposição necessário à produção de vitamina D é tão pequeno que não se necessita de tomar banho do sol. Estima-se que o intervalo de tempo em que se deve evitar a exposição ao sol, sem

distinção de idade nem do tipo de pele, é o das 10 às 15 horas dado que o sol se encontra na posição mais alta da sua trajectória e entretanto no percurso menos longo dos seus raios. Esta situação vai implicar baixa densidade do ar e menor atenuação da radiação, derivando daí que a RS-UV é mais forte naquele intervalo. Contudo pouco ou nada se sabe sobre o real nível da RS-UV em Moçambique, em geral, e na cidade de Maputo, em particular. A pesquisa sobre a variação desta radiação pode fornecer um dado seguro sobre os riscos que se incorrem pela exposição ao sol em Maputo, sobretudo para as peles mais sensíveis.

Este e os demais factos são a razão que torna o presente trabalho sobre a RS-UV de grande relevância à saúde humana esperando-se maior contribuição nas diversas actividades como as agrícolas, as turísticas, as médicas, as científicas, etc.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

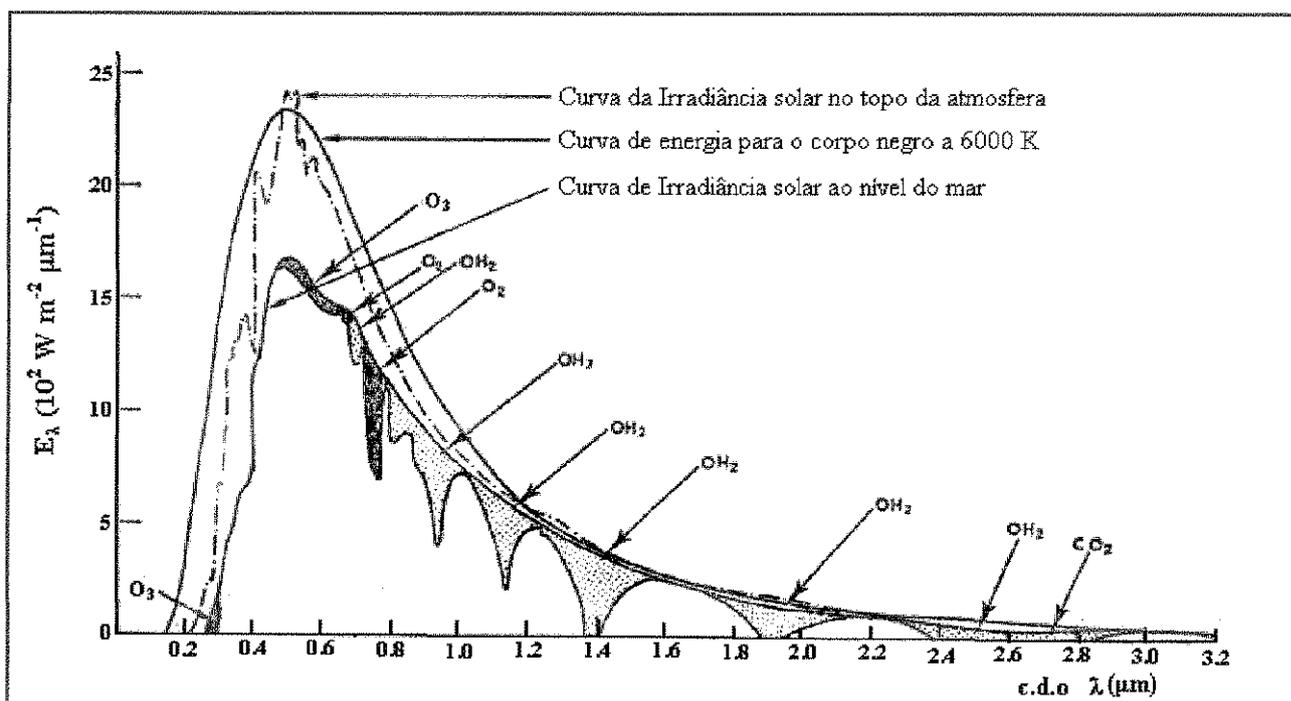
#### 2.1 RADIAÇÃO SOLAR

A principal fonte de energia que chega à atmosfera e evidentemente à superfície da Terra, é o Sol, em cerca de 99,9% de toda a energia recebida na superfície. A restante fracção de energia é fornecida pela própria Terra por meio da actividade vulcânica ou decaimento radioactivo das substâncias e de queimadas de materiais orgânicas, factores estes que contribuem grandemente em estudos de fenómenos meteorológicos locais, como a climatologia local (McGregor e Nieuwolt, 1998).

O Sol, que dista em média cerca de 149 milhões de quilómetros da Terra, é uma esfera brilhante de gás composta principalmente por átomos de hidrogénio e hélio. Tem aproximadamente uma massa de  $2 \times 10^{30}$  kg, um volume de  $1.4 \times 10^{27}$  m<sup>3</sup> (1.300.000 vezes mais volumoso que a Terra) e a sua densidade de cerca de  $1.4 \text{ gcm}^{-3}$ , dando uma volta em torno do seu eixo de Oeste a Leste com um período de rotação, a partir do seu equador, de aproximadamente 27 dias terrestre (Plante, 1983).

A fotosfera, uma camada de gás de elevada densidade que constitui o disco solar visível, emite uma enorme quantidade de radiação em torno de 72 milhões de watts por metro quadrado, numa esfera com 650.000 km de raio. Esta propaga-se no espaço com uma velocidade de  $3 \times 10^8$  m/s (velocidade da luz) e reparte-se em esferas concêntricas de raio cada vez maior levando aproximadamente oito minutos a atingir a atmosfera terrestre com valor caído até cerca de  $1367 \text{ Wm}^{-2}$  – a chamada *constante solar* (McVeigh, 1977 e Rodrigues, 2002)

A radiação solar, composta de ondas electromagnéticas de diferentes comprimentos de onda, chega à Terra particularmente na banda compreendida entre  $\sim 0.1$  e  $\sim 3.2 \mu\text{m}$  (Strahler e Strahler, 1998). A sua distribuição espectral é semelhante à de um corpo negro ou radiador perfeito à temperatura superficial de cerca de 6000 K. A figura 2.1 é um gráfico que representa a distribuição espectral da radiação solar segundo Silva (2005). Entende-se por um *corpo negro* aquele que a uma dada temperatura (diferente de



**Figura 2.1:** Um gráfico da distribuição espectral da radiação solar no topo da atmosfera e na superfície ao nível do mar e da radiação emitida por um corpo negro a 6000 K. **Fonte:** Adaptado de Silva (2005).

zero absoluto) emite e absorve a maior quantidade possível de radiação em todos os comprimentos de onda, isto é, a sua emissividade é 1,0. Alguns coeficientes de emissividades para diversas superfícies estão mostrados na Tab. A.1 em anexo. A emissão total da radiação por este corpo verifica-se a uma taxa que segue a lei de Stephan-Boltzman, dada por

$$E = \varepsilon\sigma T^4 \quad (2.1)$$

onde  $E$  é a energia total emitida por um corpo negro,  $\varepsilon$  é a emissividade ou medida de habilidade de um corpo emitir radiação, e é igual a 1 (um) para um corpo negro perfeito,  $\sigma$  é a constante de Stephan-Boltzman e o seu valor é  $5,67 \cdot 10^8 \text{ Wk}^{-4}\text{m}^{-2}$  e  $T$  é a temperatura absoluta (McGregor e Nieuwolt, 1998).

Como a quantidade da radiação emitida por um corpo negro varia com o comprimento de onda e depende da sua temperatura absoluta, o comprimento de onda no qual se verifica o valor máximo da radiação emitida pode ser estimado pela seguinte relação de Wien:

$$\lambda_{\max} = \frac{2987}{T} \quad (2.2)$$

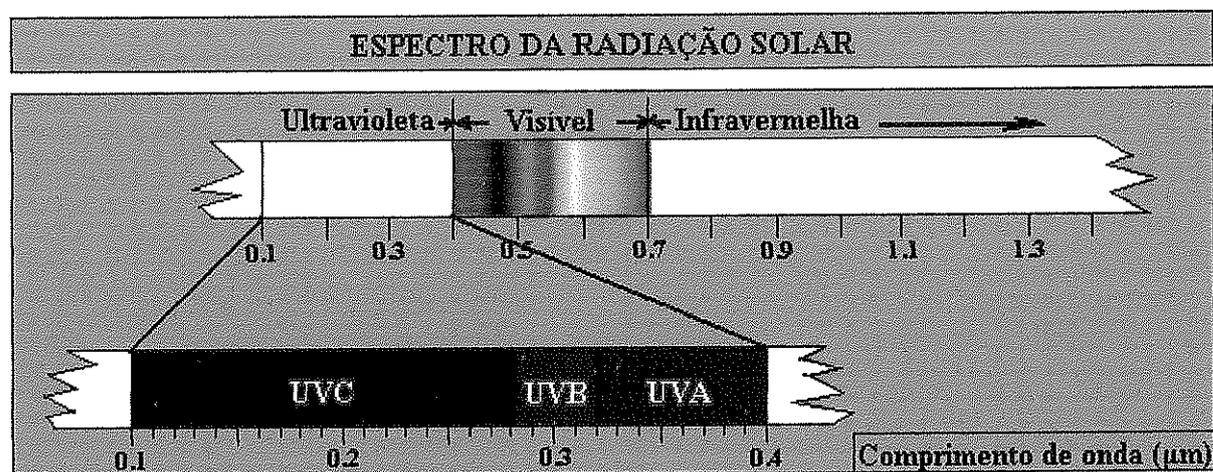
onde  $\lambda_{\max}$  é o comprimento de onda correspondente ao valor máximo da radiação emitida e  $T$  é a temperatura absoluta (McGregor e Nieuwolt, 1998).

A figura. 2.1 representa curvas de irradiância espectral em função de comprimento de onda para o caso em que na Terra se observa o Sol no zénite (altura igual a 90°). Conforme indicado na figura, uma das curvas representa a Irradiação solar extraterrestre que refere à quantidade de energia que atinge a superfície do topo da atmosfera, enquanto que a outra, designada por Irradiação solar ao nível do mar, corresponde à quantidade de energia que atinge a superfície ao nível do mar após a absorção da radiação pelos gases atmosféricos através duma coluna vertical limpa da atmosfera cujas posições das bandas de absorção dos principais constituintes são claramente destacadas na mesma figura. O termo *radiação* (que corresponde ao espectro) representa um mecanismo de transporte de energia de um corpo para o outro através de ondas electromagnéticas. A quantidade máxima de energia emitida pelo Sol, segundo a relação de Wien, ocorre na região de 0.5  $\mu\text{m}$  próximo ao meio da porção visível do espectro electromagnético (Strahler e Strahler, 1998). De quase 99% da radiação solar que chega à Terra, cerca de 9% desta radiação concentra-se na ultravioleta, 45% na visível e a restante na infravermelha (Burroughs, 2001).

O espectro electromagnético corresponde ao conjunto de todas as radiações com comprimento de onda que variam desde  $10^{-10}$  cm (raios gamas) até cerca de  $10^7$  cm (ondas longas da rádio) (Silva, 2005). Na Fig 2.2 está representada uma parte do espectro electromagnético no qual se encontram uns dos principais intervalos correspondentes às divisões do espectro solar em função de comprimento de onda nomeadamente, radiação solar ultravioleta e as suas sub-regiões (UVC, UVB e UVA), radiação solar visível e radiação solar infravermelha.

A **Radiação Solar Ultravioleta (UV)** corresponde à radiação solar de comprimento de onda compreendido entre  $\sim 0.1$  e  $\sim 0.4$   $\mu\text{m}$  (Pereira, 2005). Não é visível a olho nu, compreendendo aproximadamente a 9% da energia solar disponível na superfície da Terra. Uma considerável

quantidade desta energia é absorvida fora da atmosfera e não chega à superfície da Terra (Plante, 1983).



**Figura 2.2:** Diagrama demonstrativo do espectro solar e das sub-regiões da parte ultravioleta. **Fonte:** Gibson (não publicado).

A **Radiação Solar Visível (VIS)** também denominada luz branca, compreende os comprimentos de onda entre ~0,4 e ~0,7 μm e é visível (ou detectável ou percebida) ao olho humano. Quando esta luz branca é passada através de um prisma óptico a sua velocidade de propagação muda em função do comprimento de onda, e esta região pode ser dividida em diversas cores de acordo com o comprimento de onda, desde a violeta até a vermelha (Plante, 1983). O ar captura uma parte dessa energia e espalha-a, principalmente no azul e dessa forma, o céu torna-se azul durante o período diurno, em dias de céu limpo. Perto do horizonte (ao início e final do dia) os raios solares directos que chegam ao observador atravessam uma massa de ar maior, e a dispersão diminui sua intensidade, sendo a luz vermelha do espectro visível a menos espalhada, ou seja, a mais predominante, tornando o céu avermelhado, efeito este que se acentua na presença de poeira em suspensão na atmosfera (Rodrigues, 2002).

A **Radiação Solar Infravermelha (IR)** é a banda de comprimentos de onda da radiação electromagnética localizada logo após o limite da região visível (aproximadamente 0,7 μm). A radiação infravermelha pode ser emitida por materiais com temperatura abaixo de 800 °F (cerca de 426,6 °C) (Plante, 1983). Quantidade considerável desta radiação na banda de 1,5 e 2 μm é absorvida nos níveis

mais baixos da atmosfera pelos gases absorventes como vapor de água (H<sub>2</sub>O) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Burroughs, 2001).

Ora, este trabalho é dedicado à avaliação da radiação solar ultravioleta, pelo que mais atenção será prestada particularmente à parte do espectro solar correspondente à radiação ultravioleta que embora representando apenas 9% de quase 99% de toda a energia solar que chega à superfície (ou de quase toda a energia disponível), os seus efeitos são largamente importantes na superfície, sobretudo no respeitante à saúde humana.

## **2.2 RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA**

A radiação solar ultravioleta (RS-UV), já definida, representa uma parte da radiação solar com comprimentos de onda curta. Algumas soldas e lâmpadas emitem este tipo de radiação, mas a principal fonte natural é o Sol. De acordo com a intensidade que a RS-UV é absorvida pelo oxigénio e ozono, bem como do ponto de vista dos efeitos biológicos, o seu espectro é subdividido em três bandas distintas, nomeadamente: UVC, UVB e UVA (Seeling, 2003).

A radiação ultravioleta pode ser medida como uma *irradiância* – em unidades Wm<sup>-2</sup>, ou como uma exposição à energia radiante, *dose* – a energia incidente numa superfície unitária durante um determinado intervalo de tempo – em unidades Jm<sup>-2</sup>.

## **2.3 VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA**

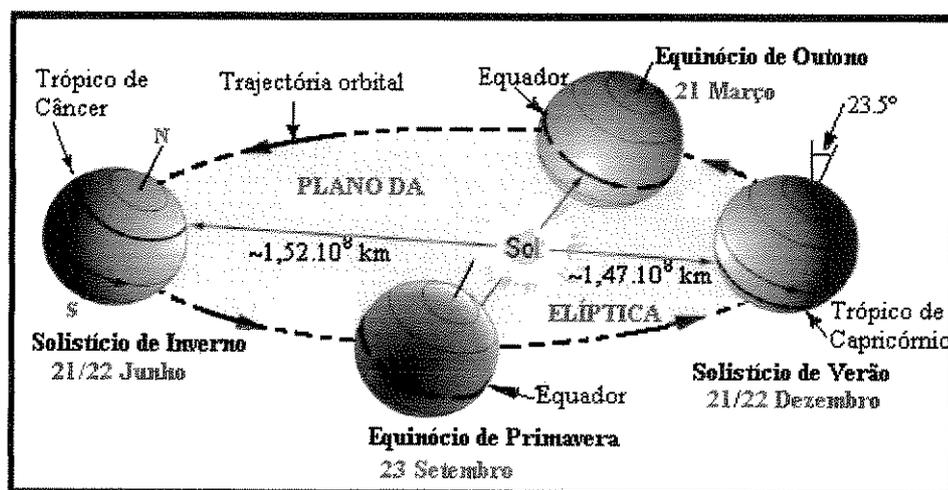
A variação temporal da radiação solar na atmosfera bem como na superfície da Terra depende principalmente de factores astronómicos como os movimentos de translação e rotação da Terra e da actividade solar, enquanto que a sua distribuição espacial depende naturalmente de factores geográficos como a latitude, a altitude e o albedo da superfície. No entanto, a radiação solar varia como função da composição da atmosfera: os gases e as partículas são responsáveis pelas variações espacio-temporais numa escala local. No caso particular da RS-UV, ela depende fundamentalmente das nuvens e do ozono. As acções decorrentes de actividades humana e que atingem a atmosfera, poluindo o ar e

influenciando a camada de ozono, afectam também a RS-UV que chega à superfície. Como consequência, a RS-UV é um parâmetro ambiental altamente variável no espaço e no tempo (Carvalho, 2000). Os factores mais importantes que afectam a RS-UV que atinge a superfície da Terra são seguidamente descritos.

### 2.3.1 Movimentos de Rotação e Translação da Terra

A Terra tem dois movimentos principais: rotação e translação. Ela gira em torno do seu eixo (rotação), com um período de aproximadamente um dia e com uma velocidade angular média de  $7,292 \cdot 10^{-5}$  rad/s ( $\Omega=2\pi$  rad/dia). Este movimento causa o ciclo dia-noite quando uma das faces do planeta é exposta ao Sol enquanto a outra permanece às escuras (McGregor e Nieuwolt, 1998).

A Terra gira em torno do Sol (translação) dando uma volta completa em aproximadamente 365,25 dias, ou um ano. A órbita descrita neste movimento é elíptica com o Sol ocupando um dos focos, razão pela qual a distância entre os dois planetas varia no decurso do ano. Aos 3 de Janeiro atinge um mínimo anual (periélio) de  $1,47 \cdot 10^8$  km e aos 4 de Julho, um máximo (afélio) de  $1,52 \cdot 10^8$  km (Iqbal, citado por McGregor e Nieuwolt, 1998). Para o hemisfério Sul, a Fig. 2.3a mostra os movimentos de rotação e translação da Terra em relação ao Sol.



**Figura 2.3a:** Esquema dos movimentos de rotação da Terra e de translação à volta do Sol. Variações no ciclo dia-noite e na distância Terra-Sol influenciam na intensidade da radiação solar UV (Referência tomada: Hemisfério Sul).

As variações na radiação solar recebida devidas à variação da distância Terra-Sol são pequenas, mas na UV pode se notar variações significantes pois este parâmetro é altamente variável. Associados a estes movimentos têm-se as estações do ano e a duração da insolação que vão influenciar na variação da intensidade da radiação solar ultravioleta que atinge a superfície.

### **2.3.1.1 Duração da Insolação**

A duração de insolação é definida como sendo o número de horas de brilho solar livre de quaisquer nuvens capazes de interrompê-lo, desde a nascente ao poente e, é dada em horas.

O número máximo de horas de Sol,  $N$ , pode ser calculado pela equação:

$$N = \frac{24}{\pi} w \quad (2.3)$$

onde  $\pi$  é uma constante equivalente a  $\sim 3,14$  e  $w$  é o ângulo horário em radianos.

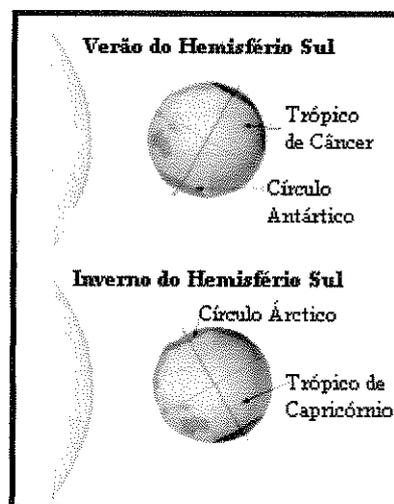
A duração da insolação é controlada pela rotação da Terra em torno do seu eixo que ao formar ângulo de  $66,5^\circ$  com o plano da órbita da Terra em volta do Sol, algures do hemisfério de verão experimenta dias longos que no hemisfério do inverno (McGregor e Nieuwolt, 1998).

A relação entre horas do céu claro e horas do céu escuro (fotoperíodo) varia com a latitude, mas ao final de um ano, qualquer ponto na superfície terrestre acumula um semestre de dias e igual período de noites. À medida que se afasta do equador aos pólos a variação sazonal do fotoperíodo torna-se cada vez mais acentuada de tal maneira que dias mais longos no verão são compensados por dias mais curtos no inverno. Um exemplo demonstrativo da variação da duração de insolação com a latitude pode ser visto na Tab. A.2, em anexo. Com o efeito, em relação à RS-UV dois aspectos fundamentais podem ser tomados em conta: (a) quanto mais longa for a duração do dia, consequência de posições mais elevadas tomadas pelo Sol no espaço, maior será a intensidade da RS-UV na superfície e (b) à medida que o Sol vai nascendo cada vez mais cedo (horas mais baixas), níveis cada vez mais altos da RS-UV, sobretudo em dias de céu limpo, poderão ser observados nas horas baixas comparando com as horas baixas de dias de duração curta, i.e., verificar-se-á um desfasamento da hora da ocorrência da máxima da

intensidade desta radiação, podendo ser atingida mesmo um pouco antes das 12 horas locais. Neste caso, tem-se que o meio-dia local ocorre depois do meio-dia-solar. De acordo com Silva (2005), define-se meio-dia-solar como o exacto momento da culminação do Sol no meridiano do observador e, portanto, ocorre simultaneamente em todos os pontos do meridiano em questão.

### **2.3.1.2 Estações do Ano**

As estações são causadas pela inclinação do eixo de rotação da Terra em um ângulo de  $23,5^\circ$  em relação à perpendicular ao plano definido pela órbita da Terra (plano da elíptica) (McGregor e Nieuwolt, 1998). Esta inclinação faz com que a orientação da Terra em relação ao Sol mude continuamente enquanto a Terra gira em torno do Sol. Em cada hemisfério a inclinação dos raios solares incidentes é mínima no primeiro dia do inverno. O Sol “migra” anualmente entre as latitudes dos Trópicos de Câncer ( $23,5^\circ$  N) e Capricórnio ( $23,5^\circ$  S) e em latitudes superiores a estas nunca fica a “pino”. A Fig. 2.3b ilustra a inclinação do eixo da rotação da Terra em relação à perpendicular do seu plano de translação e as áreas da Terra iluminadas pelo Sol quando “se desloca” entre os trópicos.



**Figura 2. 3b:** Inclinação do eixo de rotação – a principal causa das estações.

O Hemisfério Sul inclina-se para longe do Sol durante o inverno e em direcção ao Sol durante o verão. Isto significa que o ângulo de elevação do Sol acima do horizonte para uma dada hora do dia vai variar com o decorrer do ano. No hemisfério de verão as alturas do Sol são maiores, os dias mais longos e há mais radiação solar. No hemisfério de inverno as alturas do Sol são menores, os dias mais curtos e há menos radiação solar.

A irradiância (quantidade de energia por unidade de área) UVB diária em torno de 20° de latitude aumenta cerca de 25% no Verão e diminui de 30% no Inverno, em relação aos períodos de primavera e Outono. Em zonas de maior latitude (cerca de 40°), esses valores correspondem a + 70% e -70%, respectivamente (Corrêa, 2006).

### 2.3.2 Ozono Atmosférico

Ozono é uma forma invulgar (rara) do Oxigénio. As moléculas do Oxigénio de que o homem se serve para a respiração consistem de dois (2) átomos ligados entre si, enquanto o Ozono é formado por três átomos de Oxigénio. O gás ozono é transparente à luz visível comum, mas é o maior absorvedor da radiação ultravioleta biologicamente perigosa (Henbest e Marten, 1996). Ele é formado na estratosfera (10 – 15 km) e mesosfera (50 – 80 km) por processos fotoquímicos.

#### 2.3.2.1 Processos Fotoquímicos de Formação de Ozono

Um menor número de constituintes da atmosfera é criado pelo efeito da absorção da radiação solar de curto comprimento de onda (UV). A UV é uma radiação de alta energia que quebra as ligações de certas moléculas na atmosfera para formar fragmentos altamente reactivos conhecidos como *radicais livres*, os quais reagem uns com os outros e com outras moléculas presentes na atmosfera para formar novas espécies moleculares. O oxigénio ( $O_2$ ) presente na atmosfera absorve fotões (fluxo de partículas constituintes da luz) com um comprimento de onda menor que  $\sim 0.24 \mu\text{m}$ . Este processo de absorção usa a energia dos fotões para quebrar a ligação que mantém juntos os átomos de oxigénio, e é traduzido pela equação:



onde  $h\nu$  é a energia dum fotão de frequência  $\nu$  e  $h$  é a constante de Planck e o seu valor é  $6,625 \cdot 10^{-34}$  Js. Os átomos de oxigénio ( $O$ ) produzidos são radicais livres que reagem com outras moléculas de oxigénio para formar o ozono, segundo a reacção:



onde  $M$  denota qualquer molécula de ar, usualmente nitrogénio ou oxigénio, que adquire o excesso de energia gerada nesta reacção e a dissipa para as moléculas circundantes através da colisão com elas, recusando deste modo que o excesso de energia possa dissociar a recém formada molécula de ozono em  $O$  e  $O_2$ . O ozono absorve a radiação solar entre  $\sim 0.24$  e  $\sim 0.31$   $\mu\text{m}$  para reverter em  $O$  e  $O_2$ , de acordo com a reacção,



que é conhecida como equação de destruição de ozono (Burroughs, 2001).

A distribuição vertical de ozono é praticamente constante na troposfera e aumenta com a altura na estratosfera, até uma região de concentração máxima que depende da latitude e estação do ano. Em termos gerais, entre 85 a 90% do conteúdo total de ozono encontra-se acima da tropopausa. Nos trópicos, o máximo de ozono é geralmente observado durante a primavera, entre 25 a 27 km de altitude, com valores de pressão parcial de 140 nb. Nas regiões polares esse máximo atinge cerca de 220 nb e localiza-se em torno de 18 km de altitude (Pereira, 2005).

O ozono é o principal absorvedor da radiação solar ultravioleta (RS-UV). A RS-UV é absorvida e difundida na atmosfera. O Sol é a principal fonte de UV e a maior parte desta radiação à superfície da Terra é composta por UVA e UVB, sendo a radiação UVC quase totalmente absorvida pelo oxigénio e principalmente pelo ozono na estratosfera. No entanto, a radiação UVB é apenas parcialmente absorvida pelo ozono, sendo por isso muito sensível às variações da concentração deste constituinte, isto é, quanto menor for a concentração de ozono, maior é a quantidade de UVB que chega à superfície da Terra (pouca quantidade de UVB é absorvida) e vice-versa (Carvalho, 2000). Dado que o ozono é o maior absorvedor da faixa espectral UVB, a sua redução significativa pode acarretar um aumento apreciável no fluxo UVB solar na superfície terrestre e estima-se que uma redução na ordem de 1% no ozono total poderia causar um aumento de 1.2% na RS-UV biologicamente activa (UVB) (Pereira, 2005).

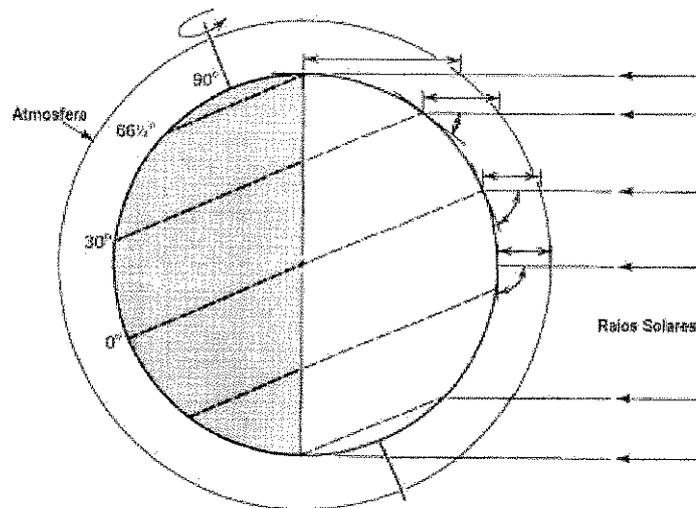
A tabela.2.1 mostra o resumo da atenuação da radiação solar ultravioleta pelo ozono atmosférico:

**Tabela 2.1:** Espectro UV e a sua atenuação pelo ozono atmosférico.

Nome	Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ )	Características
UVC	0.1 – 0.28	Quase completamente absorvida pelo $\text{O}_2$ e $\text{O}_3$ estratosférico e, portanto, não atinge a superfície terrestre. É utilizada na esterilização de água e materiais cirúrgicos.
UVB	0.28 – 0.32	Fortemente absorvida pelo $\text{O}_3$ estratosférico. É prejudicial à saúde humana, podendo causar queimaduras e, a longo prazo, cancro de pele.
UVA	0.32 – 0.4	Sofre pouca absorção pelo $\text{O}_3$ estratosférico. É importante para sintetizar a vitamina D no organismo. Porém o excesso de exposição pode causar queimaduras e, a longo prazo, causa o envelhecimento precoce.

### 2.3.3 Latitude

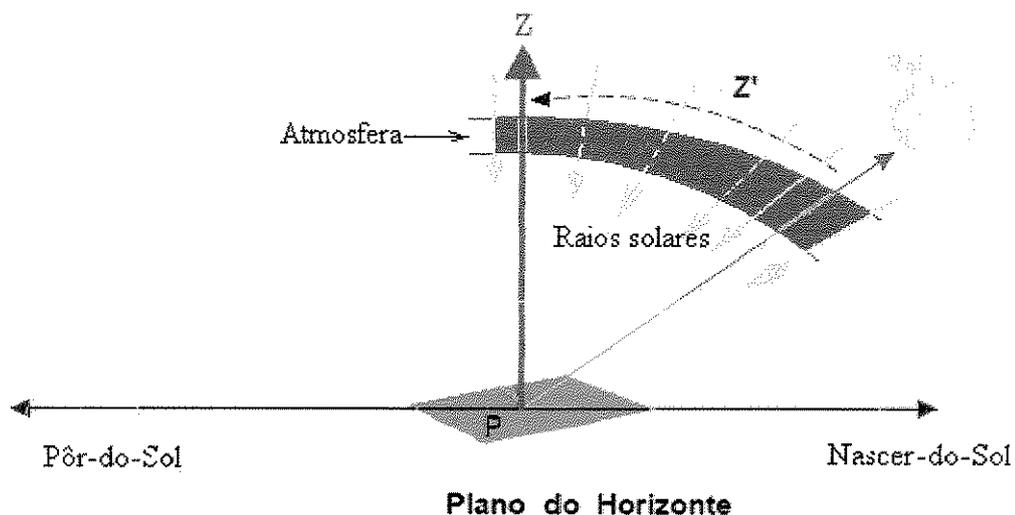
O fluxo de RS-UV diminui com o aumento da distância ao Equador. Ou seja, regiões mais próximas à linha do Equador recebem maior quantidade de energia solar e à medida em que se aproxima dos pólos a intensidade da RS-UV diminui (Manfro, 2005). Esta variação na quantidade total da radiação solar com a latitude está basicamente ligada às variações na altura do Sol como consequência dos movimentos de rotação e translação da Terra em relação ao Sol. Em regiões mais próximas ao Equador, ou seja, em latitudes baixas os raios solares atingem a superfície terrestre quase verticalmente (altura solar maior), sendo neste caso a espessura percorrida por aqueles, menor na atmosfera e por conseguinte, menos espalhadas e mais intensa é a radiação solar. Se a altura do sol decresce (do equador aos pólos), o percurso dos raios solares através da atmosfera cresce (Fig. 2.4) e a radiação solar sofre maior absorção, reflexão ou espalhamento, o que reduz sua intensidade na superfície.



**Figura 2.4:** Variação da altura do Sol com a latitude. Se a altura do Sol é pequena, os raios que atingem a Terra percorrem distância maior na atmosfera.

### 2.3.4 Elevação Solar

A elevação solar é o ângulo entre o horizonte e a direcção ao sol. O ângulo zenital solar, Fig. 2.5, é muitas vezes usado em alternativa à elevação solar e é o ângulo formado entre a vertical do lugar (Z) e a posição do Sol a partir do ponto de referência (P). A RS-UV é mais intensa para maiores elevações solares (ângulos zenitais pequenos): a distância que a radiação percorre na atmosfera é mais pequena sendo por isso menos atenuada.



**Figura 2.5:** Ângulo zenital ( $Z'$ ), diminui do nascer-do-sol até à vertical do lugar estando a massa percorrida pelos raios solares também a diminuir, e a partir deste ponto aumenta no sentido do pôr-do-sol. **Fonte:** adaptado de Silva (2005).

O ângulo zenital pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$\cos z' = \cos \delta \times \cos \varphi \times \cos w + \operatorname{sen} \varphi \times \operatorname{sen} \delta \quad (2.7)$$

onde  $z'$  é o ângulo zenital,  $\delta$  é a declinação ou elevação solar ( $-23,5^\circ \leq \delta \leq +23,5^\circ$ ),  $\varphi$  é a latitude do lugar ( $-90^\circ \leq \varphi \leq +90^\circ$ ) e  $w$  é o ângulo horário. A declinação ou elevação solar pode ser obtida a partir da relação:

$$\delta = 23,5 \times \operatorname{sen} \left( \frac{360}{365} (284 - n) \right) \quad (2.8)$$

onde  $n$  é o dia do ano e é igual a 1 em 1 de Janeiro e é igual a 365 em 31 de Dezembro. O ângulo horário é dado por:

$$\cos w = -\operatorname{tg} \delta \times \operatorname{tg} \varphi \Rightarrow w = \arccos(-\operatorname{tg} \delta \times \operatorname{tg} \varphi) \quad (2.9)$$

Devido à forte dependência da RS-UV com a elevação solar, ela varia com a latitude, estação do ano e hora do dia, e as maiores intensidades ocorrem comumente nos trópicos, no verão e em horários próximos ao meio dia (Carvalho, 2000 e WHO, 2002).

Cerca de 20 a 30% da quantidade de energia UV no Verão chega à Terra em torno do meio-dia (entre 11h e 13h), e cerca de 70 a 80% entre as 9h e 15h (Corrêa, 2006).

### 2.3.5 Altitude do Lugar

A RS-UV aumenta com a altitude devido à diminuição da espessura de atmosfera que aquela vai percorrer até atingir a superfície (Carvalho, 2000). Quanto *mais alta*, em relação ao nível do mar, for a localidade, *menor* é o conteúdo de ozono e outros elementos atenuadores, integrados na coluna atmosférica e, conseqüentemente, *maior* a quantidade de RS-UV incidente na superfície. De acordo com perfis teóricos de distribuição vertical, a quantidade de ozono decresce em torno de 1% por cada 1000 m de altitude, o que aumenta cerca de 6 a 8% a quantidade de energia UV incidente (Corrêa, 2006).

### 2.3.6 Difusão na Atmosfera

A radiação solar à superfície da Terra é composta por radiação directa e radiação difusa. A componente directa é a irradiância solar medida numa superfície horizontal e corresponde aos raios do sol que passam directamente através da atmosfera até atingir o observador na superfície terrestre sem sofrerem quaisquer desvios nas suas direcções; a componente difusa resulta dos múltiplos desvios em direcção dos raios solares no seu percurso à superfície da terra. A radiação é difundida pelas moléculas de ar, partículas de aerossol e gotas de água (Carvalho, 2000). O maior efeito de difusão (reflexão e dispersão) da radiação solar ocorre na região dos menores comprimentos de onda num mecanismo denominado por *dispersão de Rayleigh*.

**Dispersão de Rayleigh** – O espalhamento de Rayleigh é mais acentuado para os menores comprimentos de onda ( $<1.0 \mu\text{m}$ ) e ocorre quando a radiação electromagnética, durante a sua propagação, é interceptada por moléculas com diâmetro maior que o seu comprimento de onda. O coeficiente de Rayleigh é dado por

$$\sigma_R = \frac{32\pi^3}{3N_0\lambda^4\rho_0}(n-1)^2 \quad (2.10)$$

onde  $N_0$  é o número de moléculas por unidade de volume,  $\rho_0$  é a densidade e  $n$  é o índice refractivo, todos às condições de temperatura e pressão padrões (Houghton, 2002).

A atenuação pelo espalhamento de Rayleigh varia muito fortemente com o comprimento de onda (dependência de  $\lambda^{-4}$  com  $\sigma_R$  na equação (2.10)). Para uma coluna vertical de atmosfera cerca de 40% é perdido perto do ultravioleta enquanto menos de 1% é perdido perto do infravermelho. Em média cerca de 13% da radiação solar incidente na atmosfera é espalhada pelo mecanismo de Rayleigh, sendo aproximadamente metade desta energia aquela que chega à superfície da terra como radiação difusa e outra metade retornada para o espaço (Houghton, 2002).

A radiação solar é também espalhada pelas partículas suspensas na atmosfera ou aerossóis, os quais surgem de uma larga variedade de fontes incluindo vulcões, chaminés, poeiras injectadas a partir da superfície da terra pelos ventos e etc.

### **2.3.7 Cobertura Nebulosa**

Para além dos aerossóis, moléculas de ar e outros elementos existentes na atmosfera, as nuvens também têm um papel importante na atenuação da radiação solar ultravioleta (RS-UV). Os níveis desta radiação são mais elevados em condições de céu sem nuvens (céu limpo). Isto porque quando o sol está completamente encoberto, as nuvens reduzem a componente directa (na direcção do sol) e intensificam a componente difusa (proveniente de todas as direcções, excepto aquela do sol). A radiação global (directa + difusa) geralmente diminui, pois a atenuação de radiação directa é mais eficiente que a produção de radiação difusa (Pereira, 2005).

A atenuação da RS-UV pelas nuvens depende da espessura e do tipo de nuvem, podendo existir mesmo *nuvens difusoras* que em certas condições contribuem para o seu aumento. Com a bruma a RS-UV é difundida pelo vapor de água e pelas partículas de aerossóis, podendo levar a uma diminuição desta radiação (Carvalho, 2000).

Sob condições de céu totalmente encoberto, a diminuição da RS-UV global pode chegar a 70%. Apenas uma cobertura total de nuvens médias é capaz de atenuar 50% da RS-UV que atingiria a superfície terrestre. No entanto, em situações específicas, em que o céu não está totalmente encoberto e as nuvens não chegam a ocultar o disco solar, os fluxos globais desta radiação podem até mesmo ser aumentados em cerca de 25% (Corrêa, 2006).

Contudo, parte da RS-UV não é absorvida ou reflectida pelas nuvens bem como pelas partículas em suspensão na atmosfera e atinge a superfície terrestre. Deste modo, dias nublados também podem oferecer perigo, principalmente para as pessoas de pele sensível (Corrêa, 2006).

### **2.3.8 Reflexão na Superfície**

A RS-UV é absorvida pela superfície da Terra e parcialmente reflectida, dependendo das propriedades reflectoras do solo. A maior parte das superfícies naturais, como a relva, o solo e a água reflectem menos de 10% enquanto a neve fresca pode reflectir até 80% da RS-UV incidente. Na primavera nas latitudes altas, com céu sem nuvens, a reflexão na neve pode aumentar a RS-UV, igualando-a aos níveis de verão. Também a areia pode reflectir até cerca 25% desta radiação (Carvalho, 2000). Superfícies urbanas apresentam reflexão média entre 3 a 5%. Este fenómeno aumenta a quantidade de

energia UV disponível num alvo localizado sobre este tipo de solo, aumentando os riscos em regiões turísticas como praias e pistas de esqui (Corrêa, 2006).

## **2.4 EFEITOS BIOLÓGICOS**

Durante as mudanças das estações do ano é notório o florir das plantas durante o princípio do verão e a queda das suas folhas durante o princípio do inverno. Por outro lado, nota-se também uma particular alteração na aparência das pessoas. No inverno, com o sol viajando no espaço abaixo do zénite, os raios solares que atravessam uma espessura bastante grande da atmosfera depositam no hemisfério de inverno quantidades relativamente baixas de energia. Associado a este facto, durante este período as pessoas tornam-se pálidas. Ao contrário, quando o sol se eleva no espaço, o rosto bronzeia-se. Na maior parte isto ocorre vagarosamente e quase de forma despercebida. Entretanto, a permanência de pessoas em sítios abertos e por longo período durante o verão, seduzida pelos dias ensolarados e tempo quente, pode influenciar num bronzeamento rápido. Em dias como estes, a exposição sem protecção aos raios solares faz com que, após poucas horas, surjam rubores (manchas vermelhas) nas áreas de pele exposta à luz do sol, que em poucos dias mudam gradualmente em bronzeado, produzido pela deposição de pigmento na pele (Urbach, 1966).

No contexto biológico, os elementos químicos relevantes que formam os tecidos e órgãos dos seres vivos são o carbono, o oxigénio, o nitrogénio e o hidrogénio. Com relação às interações com estes elementos, as radiações podem ser de natureza *ionizante* e/ou *não – ionizantes*. As ionizantes são as que cedem às moléculas quantidade de energia suficiente para arrancar electrões orbitais e conferir-lhes energia cinética (ionização). As não – ionizantes não têm energia suficiente para provocar ionização, mas conseguem passar os electrões para um nível energético superior, deixando-os em estado activado (excitação). A radiação ultravioleta é um dos exemplos de uma radiação não – ionizante. Por outro lado existem situações em que a energia é muito baixa e apenas aumenta a velocidade de rotação, translação ou de vibração da molécula (Seeling, 2003).

Em geral uma sequência de eventos toma lugar quando um sistema é irradiado. Uma radiação apropriada incidente numa molécula pode ser absorvida, o que vai alterar o estado da própria molécula bem como a mudança da natureza da radiação incidente. Esta rápida reacção imediata é referida como

“reação primária” e seguido a isto, uma série de reações secundárias pode ocorrer. Em sistemas biológicos, especialmente, estas reações secundárias podem tornar-se bastante envolvidas, separando-se da reação primária por um longo intervalo de tempo (Urbach, 1966).

#### **2.4.1 Radiação Solar Ultravioleta e a Saúde**

Como muitas outras substâncias, a pele tem a capacidade de fluorescer, isto é, ela é capaz de absorver luz dos comprimentos de onda curtos e em vez disso emitir a luz dos comprimentos de onda longos. Esta habilidade da pele (de fluorescer) leva a uma suposição peculiar de que a fluorescência é de importância significativa, pois esta mudança de forte a fraca da radiação absorvida resulta em efeitos de grande intensidade (Urbach, 1966).

Na pele humana, uma grande parte da luz ultravioleta incidente na superfície é absorvida pela epiderme, uma camada celular que cobre a derme (camada profunda logo após a epiderme) e que com ela forma a pele. Importante é salientar que a pele não possui uma espessura uniforme ao longo de todas as partes constituintes do corpo, por exemplo, a epiderme da sola do pé é mais espessa (ou densa) do que a do abdómen. Isto irá resultar nas diferenças quantitativas à resposta da radiação ultravioleta absorvida nas diferentes partes do corpo, ou mesmo nas diferenças qualitativas na resposta observada de acordo com as estruturas alcançadas (Urbach, 1966).

A radiação solar ultravioleta (RS-UV), no seu geral, quando atinge o planeta Terra e em particular a sua superfície, os seus raios penetram na pele de organismos vivos (particularmente o Homem) desencadeando desta forma reações imediatas conhecidas como as chamadas *queimaduras solares* e *foto-alergias* (tipo de alergias provocadas pela luz solar assim como os chamados bronzamento). Provocam-se também reações tardias devido ao efeito acumulativo deste tipo de radiação durante a vida causando, deste modo, o notável envelhecimento da pele bem como as alterações das células que por intermédio de mutações genéticas predis põe os chamados *cancro de pele* e *doenças oculares* (por exemplo *cegueira*).

Descobertas indicam que a cada 1% de diminuição da camada de ozono, o número de pessoas com cataratas aumenta anualmente de 0,6 a 0,8%. Tal percentual, traduzido em números representa aproximadamente de 110 a 160 mil novos casos a cada ano no mundo (Filho, 2005).

De forma individual, as componentes do espectro UV contribuem nos perigos da saúde humana de maneiras diferentes. No contexto de danos que podem ser provocados por aqueles, interessa focar as radiações do tipo UVB e UVA, já que a UVC quase que não atinge a superfície terrestre devido à sua maior se não total absorção pelo oxigénio e ozono estratosférico.

A faixa compreendida de UVB embora sofrendo forte absorção pelo O<sub>3</sub> estratosférico chega à superfície terrestre e a sua incidência tem aumentado substancialmente durante o verão, especialmente entre 10 e 16 horas quando os raios do sol atingem o seu máximo. Esta radiação penetra na pele de forma superficial causando dolorosas queimaduras solares (dilatação dos vasos sanguíneos), sendo também responsável pelas alterações celulares que a longo prazo vão dar lugar ao cancro de pele (Seeling, 2003 e Pereira, 2005). Pesquisas indicam que aproximadamente 50% dos danos ou consequências da exposição à RS-UV de uma pessoa acontece durante os seus primeiros 18 anos de vida (Filho, 2005), pois esta é a fase em que as células do corpo, principalmente os olhos das crianças, se encontram num forte crescimento e desenvolvimento, sendo facilmente mais susceptíveis às diversas alterações em reacções com a UV.

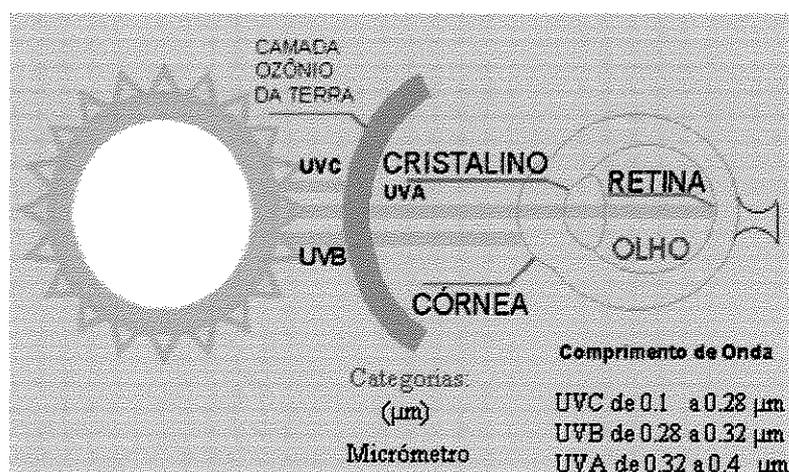
Nas plantas, tanto o aumento da intensidade como o do tempo de exposição à radiação UVB diminuem a actividade fotossintética e logo a produção, casos que acontecem em algumas culturas comuns, como a soja, o feijão e alguns pinheiros. A UVB também faz com que as plantas alterem a composição química dos seus tecidos, por exemplo, aumentando o seu conteúdo foliar de pigmentos protectores (Seeling, 2003).

A radiação UVA constitui a maior parte do espectro da radiação ultravioleta. Sofrendo pouca absorção pelo ozono estratosférico, sua intensidade é quase constante durante todo o ano e atinge a superfície terrestre praticamente de igual modo nos períodos do inverno bem como do verão. Não varia muito ao longo do dia sendo pouco maior entre 10 e 16 horas. Ao atingir a superfície terrestre penetra no corpo humano de forma profunda podendo, com excesso à sua exposição, causar queimaduras e envelhecimento precoce. Similarmente a UVA afecta os olhos pelo acúmulo à exposição directa ou indirecta do Sol bem como pela reflexão das superfícies. Este tipo de radiação facilmente passa pela *córnea* (região anterior da membrana exterior do olho – *esclerótica*) e é a de maior potencial agressão à *retina*, ambas mostradas na Fig. 2.6. Em condições normais, uma vez transmitidas as irradiações UV

pela *retina*, a maior parte delas é filtrada pelo *crystalino*, tornando este órgão susceptível aos maiores danos pondo em perigo o próprio olho (Pereira, 2005). Sendo principal responsável pelo foto-envelhecimento, altera as fibras elásticas e colágenas, provocando rugas, perdas da elasticidade e manchas. Joga papel importante na participação das foto-alergias e também predispõe a pele ao surgimento do cancro (Seeling, 2003).

A interacção com a UVB e UVA tem também consequências benéficas e mesmo essenciais à sobrevivência, tal como a síntese da vitamina D, que ajuda na absorção do cálcio e do fosfato pelo aparelho digestivo e, portanto, contribui para o crescimento normal e desenvolvimento dos ossos. Em áreas do mundo onde há níveis inadequados de vitamina D disponível na alimentação (algumas fontes: óleo de fígado de peixe, manteiga, fígado, gema de ovo, leite, salmão, atum), a radiação UVB é a sua única fonte (Seeling, 2003).

A figura 2.6 resume as regiões que, de acordo com o grau de potencialidade de cada uma das três componentes da radiação solar ultravioleta (UVC, UVB e UVA), podem ser interceptadas tendo em conta como principal alvo o olho humano.



**Figura 2.6:** Toxicidade das radiações ultravioletas. Fonte: (Filho, 2005).

A radiação UV (não – ionizante) para além de actuar a nível atómico também actua a nível molecular. Esta radiação interage com a molécula de ADN (ácido desoxirribonucleico), portadora da informação genética, sendo por esta molécula principalmente absorvidos menores comprimentos de UV (C e parte

da B). Tal absorção pode provocar quebras de cadeias implicando em alterações, efeito este que não interfere nas gerações posteriores (Seeling, 2003).

A pele humana tem uma importante função relativa à actividade imunológica. A sensibilidade ao sol depende do tipo de pele e, segundo a classificação de Fitzpatrick (Seeling, 2003), os fototipos cutâneos são apresentados na Tab. 2.2.

**Tabela 2.2:** Tipos de pele e a respectiva sensibilidade a UV (Seeling, 2003).

<b>Tipos de Pele</b>	<b>Descrição</b>	<b>Sensibilidade</b>
I – branca	Queima com facilidade, nunca bronzeia	Muito sensível
II – branca	Queima com facilidade, bronzeia muito pouco	Sensível
III – morena clara	Queima moderadamente, bronzeia moderadamente	Normal
IV – morena moderada	Queima pouco, bronzeia com facilidade	Normal
V – morena escura	Queima raramente, bronzeia bastante	Pouco sensível
VI – negra	Nunca queima, totalmente pigmentada	Insensível

Entende-se por *bronzeamento* a reacção mais comum da pele à radiação UV. Quando o sol atinge o corpo desprotegido ocorre um estímulo para a produção de melanina (melanogénese), um pigmento de função fotoprotectora que o organismo possui, a qual é libertada na tentativa de remediar as lesões causadas no ADN. Por ser um pigmento escuro, a pele escurece, ou seja, bronzeia (Seeling, 2003).

#### **2.4.2 Espectro de Acção**

Tal como se viu anteriormente, embora em pequenas quantidades a radiação solar ultravioleta (RS-UV) pode ter efeitos significativos nos seres vivos e nos materiais, dependendo sobretudo do comprimento de onda dessa radiação. O *espectro de acção* traduz a eficiência da radiação na produção desses efeitos em função do comprimento de onda. Esta resposta biológica poderá referir variados efeitos prejudiciais nos seres vivos, incluindo plantas, animais e seres humanos. Como exemplo de alguns importantes espectros de acção referem-se os seguintes: o de referência para o eritema (vermelhidão), o da absorção do ADN e o do cancro cutâneo não - melanoma. Por exemplo, o espectro de acção CIE – Commission Internationale de l'Eclairage – é o espectro de acção de referência para o eritema (Carvalho, 2000).

Segundo Mckinlay e Diffey (citado por Corrêa, 2004), para o caso dos seres humanos, essa resposta é padronizada pelo espectro de acção eritêmica que representa a sensibilidade da pele à RS-UV absorvida, sendo mostrado na Fig. 2.7. Neste gráfico, o valor um (1) da eficiência eritêmica ( $\epsilon_\lambda$ ) representa a máxima sensibilidade da pele. Nota-se que a sensibilidade da pele à RS-UV entre os comprimentos de onda de 0.28 e  $\sim 0.3 \mu\text{m}$  é milhares de vezes maior a que se pode sentir entre  $\sim 0.32$  e  $0.4 \mu\text{m}$  (Gibson, não publicado).

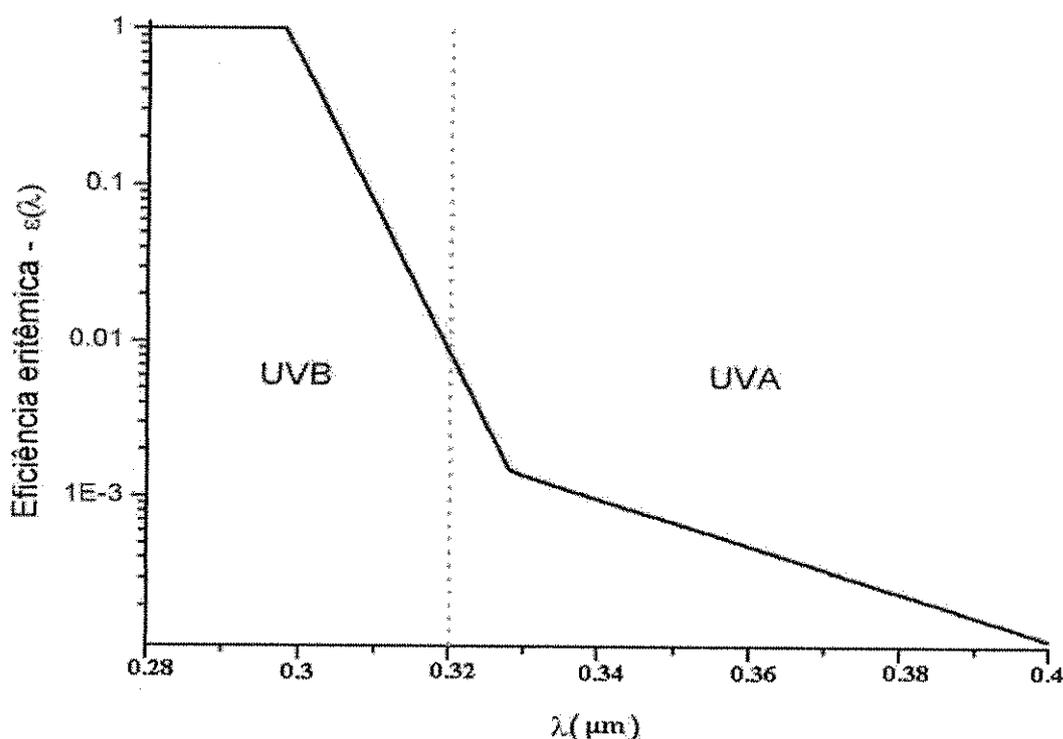


Figura 2.7: Gráfico do espectro da acção eritêmica. Fonte: (Corrêa, 2004).

Segundo Corrêa (2004) a irradiância espectral UV ( $I_\lambda$ ) deve ser ponderada pelo espectro de acção ( $\epsilon_\lambda$ ), de modo a se obter a irradiância biologicamente activa, denominada irradiância eritêmica ( $S_\lambda$ ) no caso de seres humanos. Isto é:

$$S_\lambda = I_\lambda \epsilon_\lambda, [\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}] \quad (2.11)$$

Integrando-se a irradiância  $S_\lambda$  na região UV pelo comprimento de onda entre 0.28 e  $0.4 \mu\text{m}$ , tem-se:

$$S = \int_{0.28\mu m}^{0.4\mu m} I_{\lambda} \varepsilon_{\lambda} d\lambda, [\text{Wm}^{-2}] \quad (2.12)$$

A dose UV efectiva para um determinado período de exposição é calculada integrando a irradiância efectiva no período de exposição, tal como mostra a Eq. 2.13.

$$Dose = \int S dt = \iint_{\Delta\lambda} I_{\lambda} \varepsilon_{\lambda} d\lambda dt \quad (2.13)$$

### 2.4.3 Dose Mínima para o Eritema (Rubor Cutâneo)

Um dos efeitos prejudiciais mais frequentes é o "escaldão" solar, experimentado especialmente pelas pessoas de pele mais sensível após uma simples ida à praia, sendo o espectro de acção CIE de referência para o eritema usado na avaliação dos efeitos nocivos da RS-UV na pele humana.

O tempo mínimo para a formação do eritema - MED (Dose Mínima para o Eritema, traduzido do inglês Minimal Erythematol Dose) – é usado para descrever o efeito potencial da RS-UV na formação do eritema, definindo-se 1MED como a dose efectiva de UV que causa um rubor perceptível na pele humana não anteriormente exposta. No entanto, a tolerância da pele humana à RS-UV é variável de indivíduo para indivíduo. Essa tolerância é determinada pela quantidade de um pigmento da própria pele que se denomina melanina. Sendo a quantidade de melanina determinada a nível genético e também em termos de adaptação individual, 1MED varia na população da Europa, por exemplo, entre 200 e 500 Jm<sup>-2</sup>. Na ausência de estudos nacionais de sensibilidade ao eritema, poderão ser consultadas na Tab. 2.3 os valores dos MED para diferentes tipos de pele, de acordo com a norma DIN-5050 (Carvalho, 2000).

**Tabela 2.3** : Principais tipos de pele e os valores de MED correspondente. Fonte: (Carvalho, 2000).

Tipo de Pele	Bronzeia	Queima	Cabelo	Cor dos Olhos	1MED
I	Nunca	Sempre	Ruivo	Azul	200 J/m <sup>2</sup>
II	Às vezes	Às vezes	Louro	Azul/verde	250 J/m <sup>2</sup>
III	Sempre	Raramente	Castanho	Cinza/castanho	350 J/m <sup>2</sup>
IV	Sempre	Raramente	Preto	Castanho	450 J/m <sup>2</sup>

#### **2.4.4 O Índice UV – um Parâmetro para o Público**

A necessidade de fazer chegar ao público em geral informação sobre a radiação solar ultravioleta (RS-UV) e sobre os seus possíveis efeitos nocivos, levou a comunidade científica a definir um parâmetro que pudesse ser usado como um indicador para as exposições a esta radiação, ao qual se denomina por Índice UV (IUV).

O IUV representa uma escala de intensidades da RS-UV incidente, ponderada por um factor que representa os efeitos da radiação sobre a pele humana. Estes níveis de RS-UV contribuem efectivamente para a formação de uma queimadura na pele humana (eritema), sendo que sua formação depende dos tipos de pele (I, II, III e IV como ilustra a Tab. 2.3) e do tempo máximo de exposição solar com a pele desprotegida (IM, 2006). O IUV é apresentado como um número inteiro, cuja unidade se refere a  $25 \text{ mWm}^{-2}$  (isto é,  $1 \text{ IUV} = 25 \text{ mWm}^{-2}$ ).

De acordo com as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS), os valores da IUV são agrupados em categorias de intensidades mostradas na Tab.2.4. Alguns factores contribuem para que este índice varie, tais como: estação do ano, hora do dia, latitude, altitude e cobertura de nuvens (WHO, 2002).

**Tabela 2.4 :** Categorias de Intensidade de RS-UV (Corrêa, 2006).

<b>CATEGORIA</b>	<b>ÍNDICE ULTRAVIOLETA</b>
<b>BAIXO</b>	<b>&lt; 2</b>
<b>MODERADO</b>	<b>3 a 5</b>
<b>ALTO</b>	<b>6 a 7</b>
<b>MUITO ALTO</b>	<b>8 a 10</b>
<b>EXTREMAMENTE ALTO</b>	<b>&gt; 11</b>

O IUV exprime-se numericamente como o resultado da multiplicação do valor médio no tempo da irradiância efectiva obtida na Eq.2.12 por uma constante C equivalente a  $40 \text{ W}^{-1}\text{m}^2$ , tomando condições de céu limpo, isto é:

$$IUV = C \int_{0.28 \mu\text{m}}^{0.4 \mu\text{m}} I_{\lambda} \varepsilon_{\lambda} d\lambda \quad (2.14)$$

Por exemplo: Uma irradiância efectiva de  $0.2 \text{ Wm}^{-2}$  corresponde a um valor do IUV de 8.0. O valor máximo diário do IUV é o maior valor médio registado ou previsto em 30 minutos (Carvalho, 2000).

Para o cálculo do IUV em dias sob condições de céu nublado introduz-se um novo parâmetro denominado *CMF* — *Cloud Modification Factor* (Factor de Modificação das Nuvens, um número entre 0 e 1). Este factor multiplicador avalia o IUV sob presença de nuvens, nevoeiro e chuva, tendo sido os valores baseados em simulações computacionais e medidas experimentais. A utilização desses valores é extremamente simplista por consistir de um factor a ser multiplicado às irradiâncias previamente calculadas para céu claro. Os valores de *CMF* para uma boa aproximação na avaliação do IUV estão indicados na Tab. 2.5 onde 0 e 8 oitavos representam céu sem nuvens e céu totalmente coberto de nuvens, respectivamente.

**Tabela 2.5 :** *CMF* para diferentes tipos e quantidades de nuvens. **Fonte:** (Vanicek, 1999).

Quantidade de nuvens				
	Oitavos	0 – 2	3 – 4	5 – 6
Alta	1.0	1.0	1.0	0.9
Média	1.0	1.0	0.8	0.5
Baixa	1.0	0.8	0.5	0.2
Nevoeiro	-	-	-	0.4
Chuva	-	-	-	0.2

Por exemplo, uma cobertura total de nuvens médias é capaz de atenuar 50% da RS-UV que atingiria a superfície terrestre. Desse modo, segundo Vanicek (1999), o IUV sob condição de nebulosidade pode ser estimado da seguinte forma:

Após a obtenção do  $IUV_0$  (sob condições de céu limpo) dum determinado lugar, multiplica-se com o valor do factor de modificação das nuvens (*CMF*) da Tab. 2.5, de acordo com o tipo de cobertura de nuvens. Assim, tem-se:

$$IUV = IUV_0 \times CMF \times (1 + 0.08 \times \Delta H) \quad (2.15)$$

onde  $\Delta H$  é a diferença de altitude da estação em quilómetros.

Supondo, por exemplo, que a previsão do  $IUV_0$  para um dado dia de céu limpo na Cidade de Maputo seja de **10**, cuja estação esteja a ~68 m e ao meio-dia o céu se apresenta totalmente encoberto com nuvens baixas, o IUV aproximado para essa ocasião será:

**Dados:**

$IUV_0 = 10$  (calculado sob céu limpo);

$CMF = 0.2$  (vide tabela acima, para céu totalmente encoberto, 0-100%, de nuvens baixas);

$\Delta H = 0.068$  km

Portanto, o IUV será dado por:

$$IUV = 10 \times 0.2 \times (1 + 0.08 \times 0.068)$$

$$IUV = 2$$

#### **2.4.5 Exposição ao Sol**

No princípio do século 20 descobriu-se que a exposição à luz solar servia como preventivo do raquitismo, senão, em alguns casos, como a cura do mesmo. Pequenas quantidades de UV são benéficas e essenciais na produção da vitamina D, porém, o excesso à exposição da mesma poderá ter efeitos graves sobre a saúde humana, sobretudo nas zonas da pele, vista e do sistema imunológico (sistema de defesa do corpo). Os efeitos agudos devido a UV incluem o eritema da pele e a fotoqueratite dos olhos. Os efeitos crónicos na pele incluem o cancro e fotoenvelhecimento, nos olhos incluem a catarata, o pterigium e o carcinoma espinocelular da conjuntiva. A UVA, por sua vez, tem um maior efeito a nível dos tecidos sub-cutâneos e é o causador de um grande número de alterações crónicas degenerativas da pele (fotoenvelhecimento), como resultado da sua acção sobre diversos elementos que constituem a pele (queratinocitos, melanocitos, colagénio, elastina, vasos sanguíneos) (Carvalho, 2000).

Um dos efeitos que surge a curto prazo devido à exposição à UV é o vermelhão. Este pode não ser notado durante a exposição ao sol, tornando-se visível após algumas horas. Isto deve-se ao facto de, antes do eritema se manifestar, ocorrer inicialmente a vasodilatação dos capilares das áreas expostas, independentemente da idade das pessoas. No entanto, o eritema pode ocorrer 3 a 5 horas após a exposição à UV, alcançando um máximo entre 8 a 24 horas e desvanecendo ao longo de 3 dias. Diferente do eritema tem-se o bronzeado. Quando a pele é exposta à radiação solar ultravioleta (RS-UV) podem distinguir-se duas reacções ao bronzeado: uma diz respeito à absorção imediata da RS-UV pela melanina presente na pele, e que lhe confere um tom escuro e que desvanece poucas horas após o fim da exposição e, a outra refere-se ao escurecimento da pele que requer cerca de 3 dias a desenvolver, sendo a mais persistente e que resulta numa intensificação da produção da pigmentação. No primeiro caso a radiação mais efectiva é a radiação UVA, neste último é a UVB (Carvalho, 2000).

Um outro efeito da exposição ao UVB é o aumento da espessura da epiderme a qual irá contribuir para a atenuação da RS-UV que penetra nas camadas mais profundas da pele. Isto quer dizer que, uma exposição moderada à radiação UVB mantém a capacidade da pele tolerar novas exposições. Ao contrário da pele o olho humano não possui nenhum mecanismo de adaptação. Doenças degenerativas actuando ao nível externo do olho como fotoqueratite, fotoconjuntivite e pterígium, podem ocorrer 0,5 a 24 horas após uma exposição prolongada a uma RS-UV intensa, muitas vezes em ambientes altamente reflectores (Carvalho, 2000).

Estudos diversos indicam também ser a RS-UV um factor de risco no desenvolvimento da catarata humana a qual resulta do aumento da capacidade da lente do olho. A UV induz a supressão do sistema imunológico favorecendo a progressão de infecções originadas por vírus, bactérias e fungos (Carvalho, 2000).

#### **2.4.6 Algumas Medidas Preventivas Contra a Radiação Solar Ultravioleta**

Em relação aos danos que podem ser provocados pela exposição acima dos limites à RS-UV, são apresentadas algumas medidas preventivas, a saber:

- Evitar a exposição directa ao sol especialmente perto do meio-dia solar (entre as 10 e 15 horas);
- Proteger áreas mais vulneráveis do corpo como os olhos, pescoço, orelhas, ombros e dorso dos pés;

- Usar sempre óculos escuros, chapéu ou boné e roupas adequadas, i.e., roupas de protecção UV (feitas de tecido que protege a RS-UV). Tal tecido, Fig. A.2 em anexo, caracteriza o alto grau de protecção, ou seja, a pequena permeabilidade da RS-UV, por exemplo, chapéus fabricados com este tecido impedem a penetração 99,92% da RS-UV. Isto consegue-se de dois modos: primeiro, o fio cru, de que o tecido é produzido, é feito de algodão e de poliamida em que, durante a produção, são introduzidas e suavemente dispersas as partículas e moléculas do dióxido de titânio, uma liga quimicamente inerte. As partículas de titânio suavemente dispersas, de tamanho de 0.5  $\mu\text{m}$ , impedem quase na totalidade a penetração dos raios UV e, segundo, pelo modo de tecer que é ajustado de maneira que entre os fios na textura não existam buracos que possam deixar passar os raios UV (vide Fig. A.3, em anexo). Assim, uma roupa com o factor de protecção UV 50 (UPF 50) significa que se pode estar continuamente exposto ao sol por um período 50 vezes mais longo do que se tiver a pele não protegida, sem perigo de queimaduras do sol nas partes protegidas do corpo;
- Nunca se deitar directamente na areia. Usar esteira, toalha ou cadeira de praia;
- Usar guarda-sóis ou abrigar-se em locais de sombra sempre que necessário;
- Expor-se ao sol de forma progressiva, começando com uma hora diária e aumentando gradualmente;
- Perguntar ao médico se os remédios a tomar aumentam ou não a sensibilidade da pele ao sol;
- O uso inadequado de lubrificantes pode bronzear mais rapidamente a pele;
- Usar fotoprotectores com factor de protecção solar (FPS) igual ou superior a 15 que devem ser postos no corpo e no rosto 20 minutos antes da exposição ao sol. Além dos protectores solares, existem os chamados filtros ou bloqueadores solares com efeitos mais acentuados, os quais podem ser recomendados pelos dermatologistas para a protecção da pele. Contudo, o uso destes não significa permissão para longo tempo de exposição solar, apenas para limitar os riscos de exposição (Rodrigues, 2002).

As lentes ou fotoprotectores recebem um tratamento químico especial no qual tem a capacidade de absorver os raios ultravioleta, filtrando o que entraria pelos olhos. Uma vez absorvidos, serão neutralizados e convertidos em energia na qual será transferida para o meio ambiente a partir da superfície externa das lentes (vide como ocorre a absorção da radiação na Fig.A.1 em anexo).

A tabela 2.6 representa um simples resumo ou guia de aplicação das medidas preventivas contra a RS-UV, tendo em conta o IUUV, a fotossensibilidade (com tipo de pele) e o tempo de exposição solar.

**Tabela 2.6 :** Um guia simples para aplicação das medidas de protecção (Carvalho, 2000).

Índice UV	MEDIDAS DE PROTECÇÃO					TEMPO DE FORMAÇÃO PARA O ERITEMA
	Elevada fotossensibilidade– pele tipo I e bebés					
10 + extremo						menos de 15 min.
7 - 9 alto						20 min.
4 - 6 médio						30 min.
1 - 3 baixo						acima de 60 min.
	Média fotossensibilidade– pele tipo III					
10 + extremo						menos de 30 min.
7 - 9 alto						40 min.
4 - 6 médio						60 min.
1 - 3 baixo						acima de 60 min.

Outra informação adicional e relevante sobre a radiação solar ultravioleta pode ser vista na Tab. A.3 em anexo, uma lista de perguntas, respostas e respectiva explicação. A Tab. A.3 mostra de forma geral o que pode constituir dúvidas da sociedade na concepção dos riscos devido à exposição da RS-UV. Servindo como guia de consultas, fornece aos utentes as possíveis respostas às diversas questões que podem ser colocadas, constituindo deste modo um instrumento complementar para as medidas preventivas contra a RS-UV.

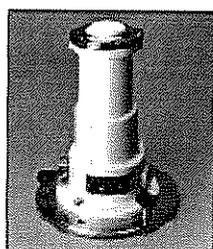
## **2.5 MEDIÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA**

A radiação solar ultravioleta (RS-UV) na superfície terrestre é de difícil medição devido à sua pequena intensidade, à rápida variação da intensidade espectral com o comprimento de onda e à escassez de radiómetros calibrados e sensíveis apenas à RS-UV operando por longo período. Além disso, a incerteza na estabilidade dos detectores padrão e nos métodos de calibração tornam difícil a manutenção da precisão a longo prazo. Nisto resulta que a detecção de uma tendência de longo período na intensidade da RS-UV na superfície terrestre é mais difícil do que a detecção da redução do ozono atmosférico. É também necessário, para além das dificuldades instrumentais, considerar o facto da radiação solar na superfície terrestre ser função de muitas variáveis, como por exemplo o ângulo solar zenital, altitude em relação ao nível do mar, o ozono total, a nebulosidade, o albedo superficial, entre outros factores. Logo, para a detecção de uma tendência a longo prazo na RS-UV associada à redução no ozono atmosférico, são necessárias observações de longo prazo e um estudo comportamental da UV e suas variações em função das diversas variáveis das quais ela é dependente (Kirchhoff *et al.* 2000).

Para o monitoramento da RS-UV na superfície terrestre, em particular na cidade de Maputo, a Universidade Eduardo Mondlane (UEM) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INAM), têm já instalados em fase experimental medidores de RS-UV que consistem de sensores do tipo Radiómetro UV Global de Superfície.

### **2.5.1 O Radiómetro da Radiação Solar Ultravioleta Global – Modelo TUVR**

O radiómetro da ultravioleta global do Eppley, apresentado na Fig.2.8, é um detector relativamente simples para a medição da RS-UV. A facilidade de operação, combinada a um desempenho de alta precisão comparável ao dos piranómetros destinados ao registo da radiação total dos comprimentos de onda curta (0.295 a 0.385  $\mu\text{m}$ ), faz dele um instrumento atractivo para a medição da RS-UV.



**Figura 2.8:** Radiómetro de Ultravioleta Total (ou global) - Eppley

O instrumento consiste essencialmente de uma célula fotoelétrica de barreira de selénio hermeticamente fechada e protegida por um vidro de quartzo, um filtro para restringir a resposta do comprimento de onda da fotocélula para o alcance designado, geralmente 0.295 a 0.385  $\mu\text{m}$  (i.e. aderindo limites geralmente aceitáveis para RS-UV chegando à superfície da Terra, mesmo em altitudes tão altas como 15.000 pés (1 pé=304 mm)) e um disco difusor teflon. Operando em níveis baixos de intensidade de luz e sob condições de mínima corrente eléctrica do sorvedouro, a fotocélula assegura alto grau de estabilidade na execução durante longos períodos de exposição. O designado difusor teflon, além de reduzir o fluxo radiante na fotocélula filtrado para níveis aceitáveis (e aumentando deste modo sua estabilidade com tempo de exposição) aperfeiçoa a aderência do instrumento à lei de cosseno de Lambert. Os terminais da fotocélula são conectados por intermédio de um resistor, tornando por este método, o fluxo fotométrico de ordem de 304 a 608 mm de candelas e a corrente fluindo no circuito reduzida no extremo, satisfazendo assim duas condições para melhor estabilidade da fotocélula. Toda a combinação é montada num tubo latão (liga de cobre e zinco) pintado, incluindo parafusos de nível ajustável e um nível circular de ânimo.

As especificações do radiómetro da ultravioleta solar total são:

- Sensibilidade: aproximadamente 150  $\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$ ;
- Impedância: aproximadamente 1500 ohms;
- Dependência de temperatura: aproximadamente  $\pm 0.3\%$  /  $1^\circ\text{C}$  por cima do alcance da temperatura ambiente  $-40$  a  $+40^\circ\text{C}$ ;
- Linearidade:  $\pm 2\%$  de 0 a 70  $\text{Wm}^{-2}$ ;
- Tempo de resposta: milisegundos;
- Cosseno:  $\pm 2.5\%$  de ângulo zénite de normalização  $0 - 70^\circ$ .

## **CAPÍTULO 3**

### **EXPERIÊNCIA E METODOLOGIA**

O programa de investigação em energias renováveis do Departamento de Física, na faculdade de ciências da UEM está a desenvolver um laboratório para a medição dos recursos das energias renováveis para a avaliação do potencial de energia disponível, dentre os quais se destaca a radiação solar. O laboratório possui instalados vários sensores da radiação solar incluindo o da radiação solar ultravioleta (RS-UV). É um radiómetro da Eppley, modelo TUVR, descrito na Sec. 2.5.1. Os dados colectados a partir deste instrumento é que constituem o suporte deste trabalho.

Por outro lado, o INAM, no âmbito do seu trabalho possui um laboratório de medição de parâmetros climatológico e que inclui também a medição da radiação solar, com destaque a UV. Embora não sejam apresentados os resultados dos dados colectados pelo INAM, visto que os sensores estavam em fase de pré-instalação, serviram de base de comparação para o efeito de validação dos dados colectados a partir do departamento de Física, já que se tratavam das primeiras medições.

#### **3.1 INSTALAÇÃO DOS RADIÓMETROS**

Os instrumentos usados para a realização deste trabalho, um está instalado na estação radiométrica de referência que fica localizada no terraço do edifício onde funciona o Departamento de Física, na latitude de 25°58'10" S, longitude de 32°35'39" E e altitude de ~68 metros, e o outro tinha sido instalado na estação que fica localizada no Instituto de Investigação Agronómica de Moçambique na latitude de 25°55" S, longitude de 32°35" E e altitude de 40 metros. Foram usados dois (2) radiómetros instalados em locais diferentes, para efeitos de comparação dos dados tendo em consideração que são as primeiras medições. O radiómetro instalado na Universidade Eduardo Mondlane está em funcionamento desde Abril de 2006, e o outro (pertencente ao INAM) instalado no Instituto de Investigação Agronómica de Moçambique esteve em funcionamento desde Setembro a Outubro de 2006. Para permitir a acessibilidade dos dados, o radiómetro é conectado por meio de cabos ao datalogger, que funciona mediante a aplicação de uma voltagem na ordem de 9.0 Volts os quais podem ser fornecidos por meio duma fonte de alimentação externa ou interna (pilhas). O datalogger pode

comunicar-se com um computador por meio de um cabo RS232, através de software denominado *Skyelynx*, para permitir o armazenamento, processamento e análise dos dados recolhidos.

### **3.1.1 Localização da Instalação**

A escolha da Cidade de Maputo como área de estudo não só reside no facto da facilidade encontrada para a prestação em termos de meios de trabalho e melhor acompanhamento das diversas actividades durante a decorrência do trabalho como também da sua importância sócio-económica relevante. Fazendo parte da capital do país, é o maior pólo industrial e de concentração populacional com um grande número de trabalhadores que vivem do comércio informal e que trabalham constantemente expostos ao sol.

Por outro lado, Maputo é uma cidade litorânea com a população e os turistas desfrutando das suas diversas praias, tornando-os mais susceptíveis aos efeitos da RS-UV. Por fim, a inexistência de um número suficiente de instrumentos adequados para a medição da radiação solar ultravioleta afim de se fazer uma cobertura nacional (pelo menos nas capitais provinciais), é um factor complementar.

A avaliação da intensidade da RS-UV feita neste trabalho compreendeu a análise do comportamento diário da RS-UV, ou seja como a radiação solar ultravioleta varia durante o dia para a identificação dos momentos do dia que são de intensidade máxima, sob condições de céu limpo e a variação da intensidade de radiação com o ano, pelas razões anteriormente apresentadas, ligadas a escolha do local de realização do trabalho não foi possível avaliar em diferentes altitudes, bem como em pontos localizados em latitudes diferentes.

Foi de interesse avaliar a quantidade de radiação que atinge a superfície em condições de céu coberto, tendo em conta que a atenuação da radiação solar ultravioleta depende das condições ou níveis de cobertura do céu, qualidade e quantidade das nuvens, bem como o desenvolvimento das nuvens.

## **3.2 DESCRIÇÃO DA EXPERIÊNCIA**

Neste trabalho foram avaliados os níveis de radiação solar ultravioleta global sob certas condições atmosféricas nomeadamente céu limpo e céu coberto de nuvens. Tal avaliação baseou-se nos dados

colectados nas medições deste parâmetro, num período que vai de Junho a Novembro do ano 2006. A medição foi diária desde o início (nascer do sol) até ao fim do dia (pôr do sol) e o datalogger foi configurado para fazer o registo de dados de um (1) em um (1) minuto, para permitir que pequenas flutuações fossem consideradas.

O datalogger possui oito (8) canais e uma capacidade de memória de 121 kb, de modo que de 4 em 4 dias os dados são transferidos da memória do datalogger para a memória do computador para armazenamento e devido processamento. A avaliação consistiu num tratamento gráfico de dados em função da duração do dia bem como em função dos meses para o caso das médias aritméticas mensais.

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

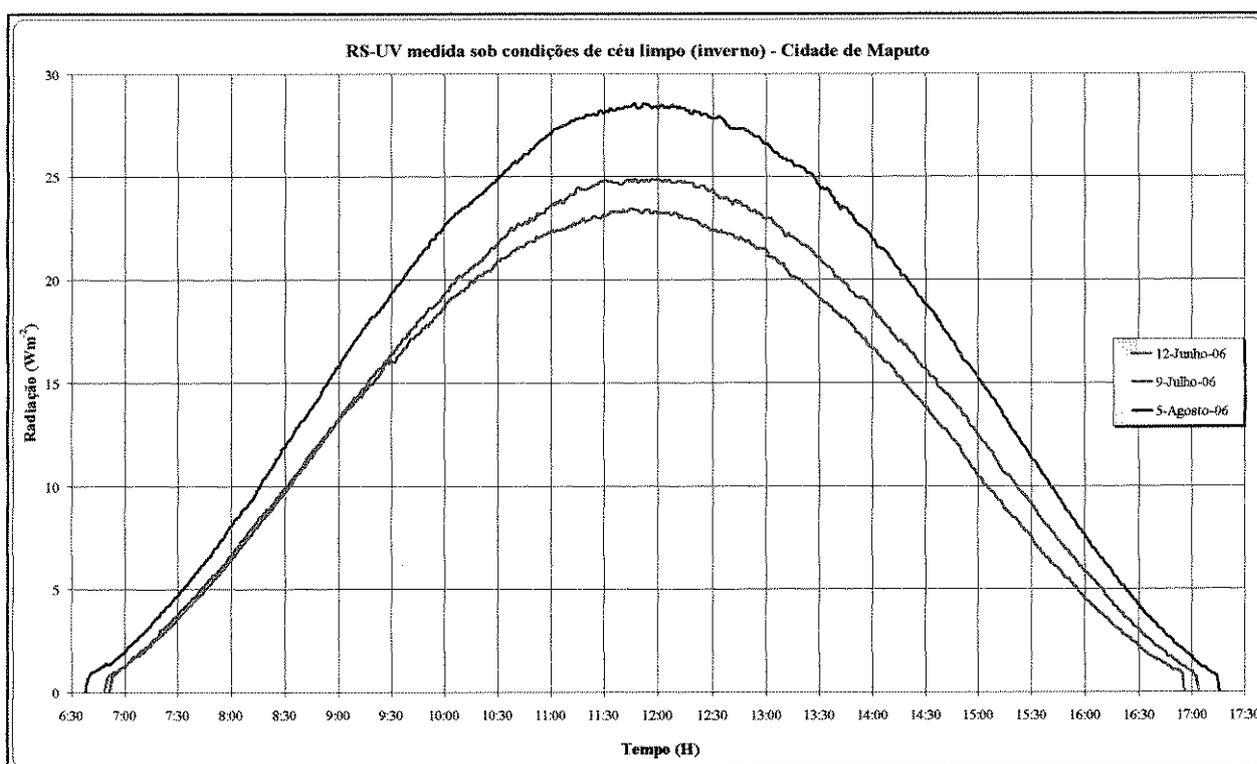
A apresentação dos resultados obtidos está dividida em três etapas básicas: a primeira voltada para a análise dos níveis de radiação solar (RS-UV) sob condições de céu limpo, a segunda, sob condições de céu parcialmente encoberto, e a terceira, sob total efeitos da nebulosidade, ou seja, sob condições de céu quase se não completamente nublado. É de destacar que os dados compreendem dois momentos das estações do ano, nomeadamente finais do Inverno (Junho, Julho e Agosto) e princípios do Verão (Setembro, Outubro e Novembro), para o caso de céu limpo, e os meses de Junho, Agosto e Outubro, para os restantes casos. Em cada mês foi escolhido apenas um dia que corresponde a uma amostra representativa para o interesse do estudo.

Com base no pacote estatístico *Microsoft Office Excel* fez-se a organização dos dados e o respectivo tratamento. Foram calculadas as médias diárias e mensais e construídos os respectivos gráficos em função de todo período de estudo e de acordo com as três condições observadas, este último caso que é somente apresentado para as médias dos dias de amostra, pois as médias mensais não são apresentadas com distinção das condições de observação.

- *Céu completamente limpo* – refere-se ao estado em que o sol e o céu se encontram completamente descobertos de nuvens e, dado que se costuma dividir o céu em oito partes, geralmente representa-se esta quantificação no intervalo de zero a dois oitavos ( $0 - 2/8$ ).
- *Céu parcialmente encoberto* – nestes termos a quantificação compreende ao intervalo de dois a seis oitavos ( $2 - 6/8$ ), representando dois momentos bem distintos: um em que o sol percorre a descoberto o céu e o outro em que aquele se encontra totalmente encoberto pelas nuvens.
- *Céu nublado* – compreende ao momento em que 75 a 100 por cento do disco solar está coberto de nuvens, ou seja, seis a oito oitavos ( $6 - 8/8$ ) do céu encoberto.

## 4.1 DIAS DE CÉU COMPLETAMENTE LIMPO

A figura 4.1 são gráficos que representam a variação da intensidade de radiação solar ultravioleta para a cidade de Maputo, medidos sob condições de um dia de céu completamente limpo, correspondendo aos dias 12 de Junho, 9 de Julho e 5 de Agosto do ano 2006.

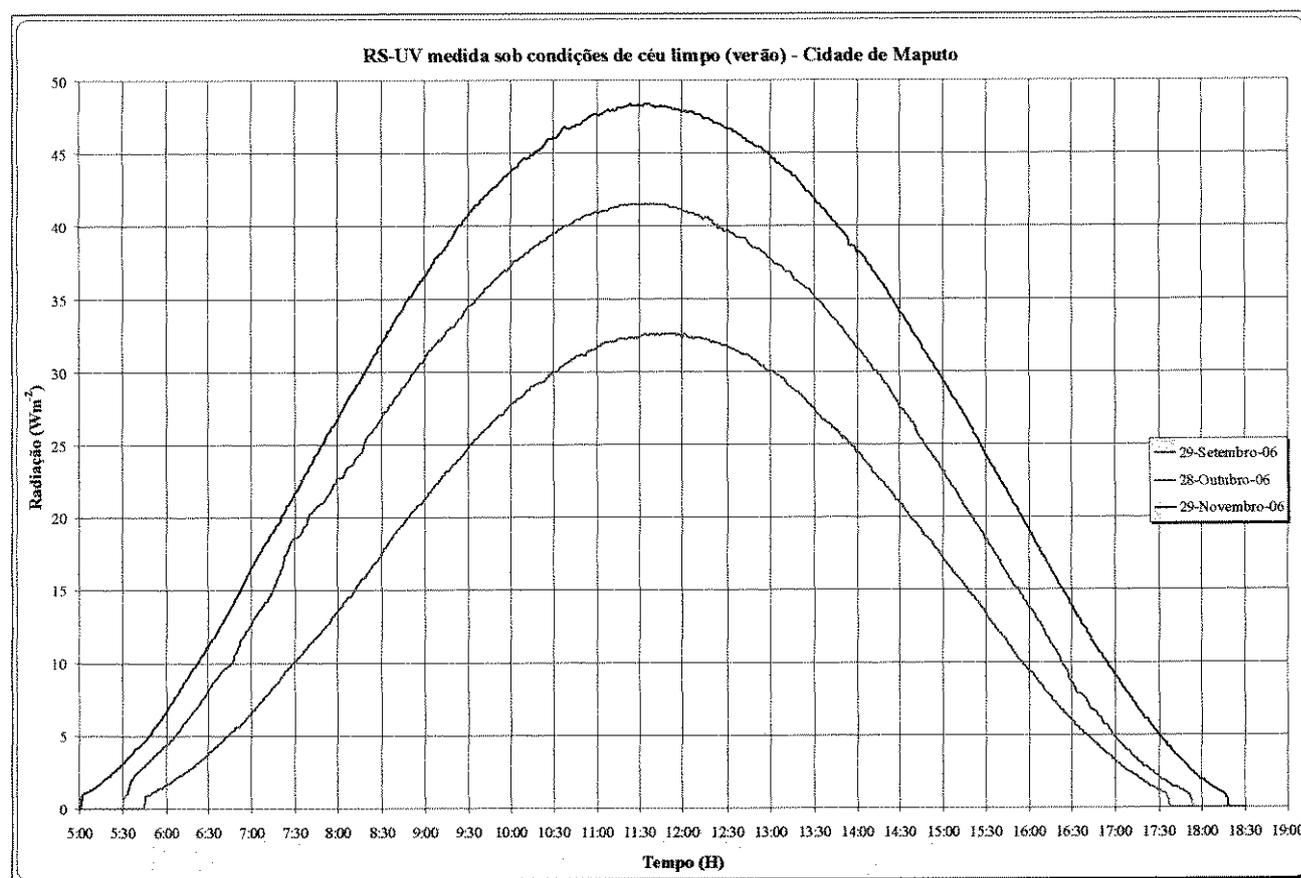


**Figura 4.1:** Gráficos da variação da radiação solar ultravioleta, medida em Maputo sob condições de céu limpo para o período de Junho a Agosto de 2006 (inverno).

Pode perceber-se que, para os três dias em destaque, os valores sofrem uma variação significativa ao longo do dia, sendo crescentes à medida que o Sol vai atingindo a sua altura máxima diária no espaço por volta do meio dia solar, e após esta hora os valores da radiação solar ultravioleta (RS-UV) decrescem até ao ocaso. É notório que uma variação expressiva dos níveis de RS-UV se regista entre os meses, cuja tendência é crescente. Assim, os máximos observados em ordem crescente são: 12 de Junho –  $23.44 \text{ Wm}^{-2}$  (às 11h45), 9 de Julho –  $24.91 \text{ Wm}^{-2}$  (às 12h00) e 5 de Agosto –  $28.56 \text{ Wm}^{-2}$  (às 11h52). É de salientar que cerca de 80% dos valores altos de RS-UV medida ocorreu no intervalo entre

9 e 15 horas. Ora, este comportamento nos valores da RS-UV medidos coincide com o que se espera para dias de céu limpo.

Na figura 4.2 estão igualmente apresentados os gráficos da intensidade de RS-UV medida sob as condições de céu completamente limpo nos dias 29 de Setembro, 28 de Outubro e 29 de Novembro do ano 2006.



**Figura 4.2:** Gráficos da variação da radiação solar ultravioleta, medida em Maputo sob condições de céu limpo para o período de Setembro a Novembro de 2006 (verão).

Os gráficos indicam que a intensidade da RS-UV aumenta com o decorrer do dia atingindo a máxima intensidade ao meio-dia solar e vão diminuindo até atingir escala zero com o pôr do Sol. Tratando-se duma região localizada nas latitudes baixas e considerando o facto de se tratar de uma estação de Verão, o Sol tende a elevar-se no espaço, os raios solares tendem a atingir a superfície terrestre de forma perpendicular, o comprimento do dia tende a aumentar, contribuindo assim com níveis mais altos de RS-UV principalmente com o Sol localizado no zénite. Os máximos obtidos foram: 29 de Setembro

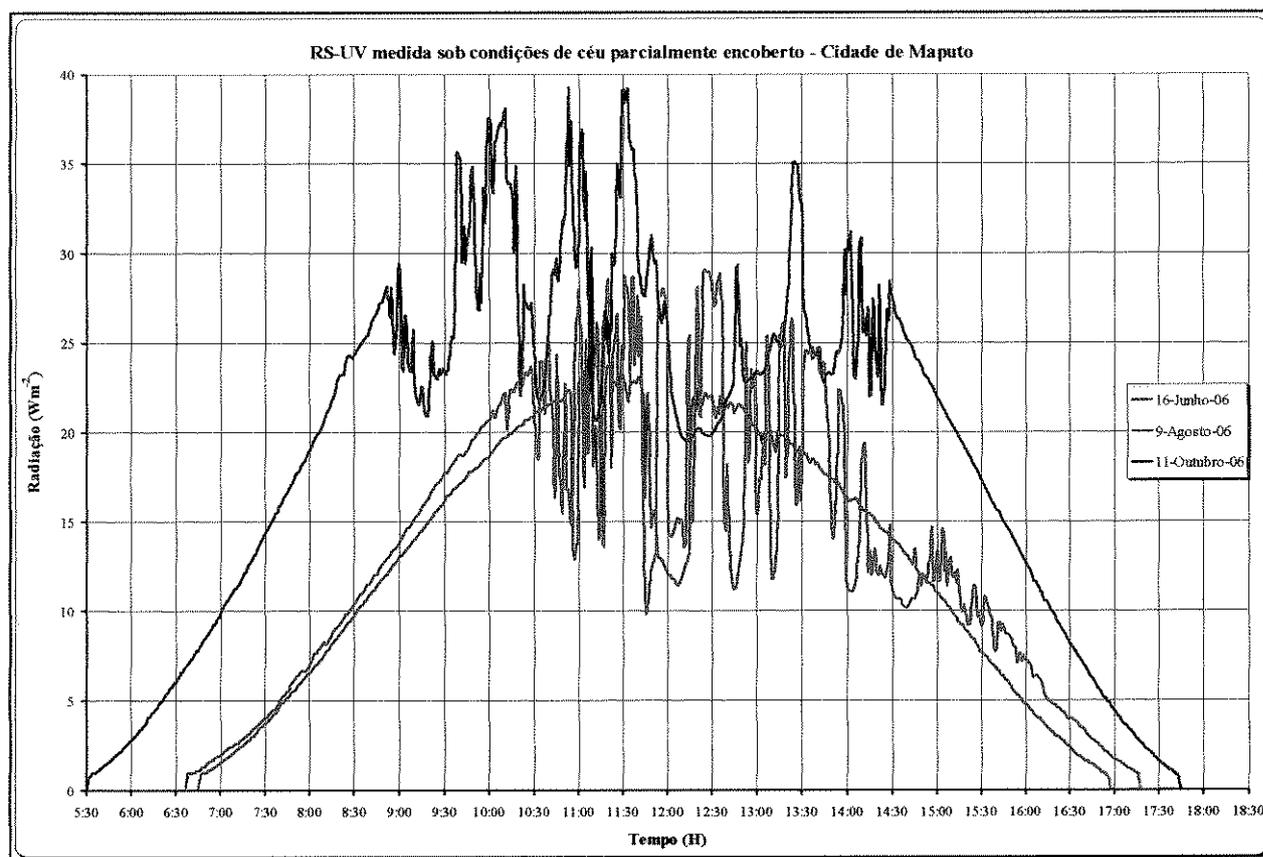
– 32.63 Wm<sup>-2</sup> (às 11h49), 28 de Outubro – 41.54 Wm<sup>-2</sup> (às 11h39) e 29 de Novembro – 48.35 Wm<sup>-2</sup> (às 11h35). Acima dos 70% da RS-UV concentrou-se entre as 9 e 15 horas.

Comparando as Figs 4.1 e 4.2 nota-se uma tendência de aumento de intensidade da RS-UV à medida que se vai caminhando para o verão. Este facto sugere que a intensidade da RS-UV é maior no verão do que no inverno, isto é justificado pelo facto de no verão as alturas do Sol serem maiores, dias cada vez mais longos e entretanto mais radiação. Pode observar-se também que no intervalo de tempo considerado dos altos riscos (9 e 15 horas), o agravamento da intensidade é de 13 Wm<sup>-2</sup> e 16 Wm<sup>-2</sup> nos finais do inverno (entre Junho e Agosto) para 21 Wm<sup>-2</sup> e 37 Wm<sup>-2</sup> no princípio do Verão (entre Setembro e Novembro). Atendendo que um dos prováveis factores que influencia na concentração de ozono estratosférico é a disponibilidade da radiação ultravioleta solar, i.e., quanto maior for o nível desta maior será a concentração daquele, subentende-se que com os elevados níveis de RS-UV (principalmente a UVA) verificados na superfície de Maputo no período de Setembro a Novembro pressuponham um aumento na concentração de ozono, o que vai reduzir consideravelmente as componentes UVB e UVC. Contudo, não se inibe a tendência de aumento dos níveis de UVB neste período de verão comparativamente ao período de inverno.

Os resultados apresentados na Sec. 4.1 destacam que, em dias de céu completamente limpo, durante os três meses do verão os valores de RS-UV são altos, situação esta que pode vir a agravar-se ao longo dos outros três meses do verão. Com este motivo desperta-se atenção à população da cidade de Maputo em tomar as devidas precauções em relação às medidas de segurança contra os efeitos da exposição excessiva ao sol sobretudo nos horários próximos ao meio-dia solar (das 11:00 às 13:00h), em particular pessoas de pele sensível.

## **4.2 DIAS DE CÉU PARCIALMENTE ENCOBERTO**

A variação da intensidade da radiação solar ultravioleta, medida em dias de céu moderado, i.e., céu parcialmente encoberto em Maputo, é mostrada na Fig. 4.3.



**Figura 4.3:** Gráficos da variação da radiação solar ultravioleta, medida em Maputo sob condições de céu parcialmente encoberto para os meses de Junho, Agosto e Outubro de 2006.

Os gráficos, mostrados na Fig. 4.3, revelam que nos intervalos de tempo entre 10h45 e 13h30 (16 de Junho), 10h00 e 16h00 (9 de Agosto) e 8h45 e 14h30 (11 de Outubro), há uma perturbação em relação ao comportamento normal da radiação, conforme mostrado nas Figs. 4.1 e 4.2, caracterizado pelo aumento da intensidade até ao meio dia solar, decrescendo depois até zero ao pôr do sol. Este facto sugere uma presença de nuvens no espaço. Pode notar-se a redução considerável da intensidade de RS-UV, no período já acima indicado. O nível de diminuição da radiação neste caso, depende especialmente da qualidade, quantidade, tipo de desenvolvimento ou espessura das nuvens bem como das camadas (baixa, média e alta) em que estas se localizam.

Para o gráfico do dia 16 de Junho é notório que com a cobertura de nuvens por volta da hora do pico (meio dia solar) por exemplo, os valores de RS-UV foram reduzidos da ordem dos  $23 \text{ Wm}^{-2}$  para  $12 \text{ Wm}^{-2}$ , o que corresponde a uma redução um pouco abaixo dos 50%. Enquanto que o gráfico do dia 09

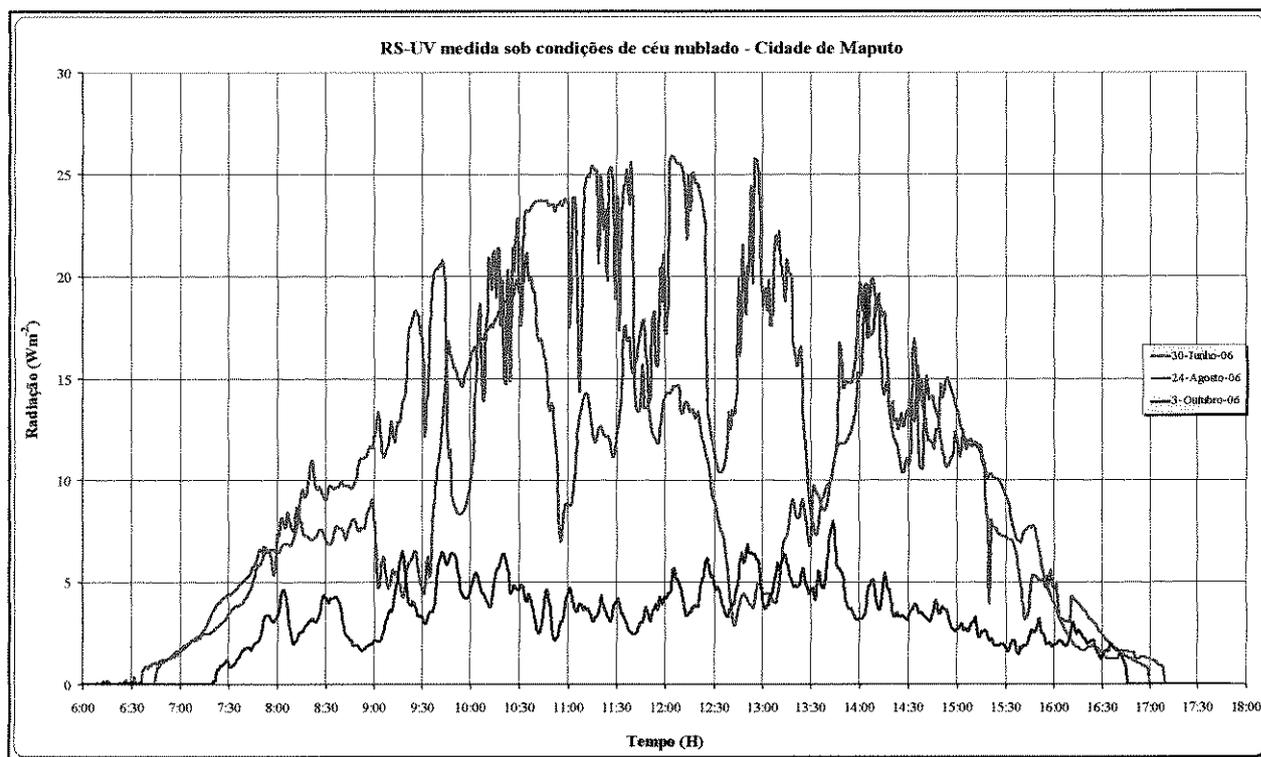
de Agosto apresenta um período de cobertura de 50%, que influencia em grandes oscilações em termos dos níveis de RS-UV, onde estes chegam a ser atenuados até cerca de  $10 \text{ Wm}^{-2}$  (perto das 11h45). O gráfico correspondente a valores da intensidade de RS-UV medida no dia 11 de Outubro, mostra para a cidade de Maputo a predominância de 46% de cobertura nebulosa, e a intensidade sofreu uma redução até cerca de  $20 \text{ Wm}^{-2}$  comparando com a máxima atingida.

A preponderância dos factos aqui apresentados reside na prudência a ser tomada pelo público ou de quem a saúde lhe serve como maior tesouro de todos os tempos, pois apesar da influência que as nuvens podem ter na redução da RS-UV, há quase sempre uma certa quantidade desta radiação que atinge a superfície, tornando risco a exposição mesmo sob condições de céu parcialmente encoberto. A gravidade do risco reside no facto de esta radiação não ser perceptível ao olho humano desarmado, ou seja, sem nenhum instrumento de auxílio, o que leva a uma ignorância completa da existência deste tipo de radiação solar em dias sob condições de céu parcialmente coberto.

### **4.3 DIAS DE CÉU NUBLADO**

A figura 4.4 ilustra o comportamento da RS-UV que atinge a superfície da terra, valores medidos em dias de céu nublado. Com efeito estão mostrados os dias 30 de Junho, 24 de Agosto e 3 de Outubro.

Os gráficos mostrados na Fig. 4.4 mostram um comportamento bastante oscilatório dos valores medidos da radiação solar ultravioleta (RS-UV), sugerindo também uma cobertura de nuvens ao longo de percurso de quase todo o dia, a qual esteve acima de 75%. Por um lado, comparando os máximos valores da intensidade de RS-UV atingidos durante o período dos meses em referência para as condições do céu limpo anteriormente descritas, nota-se uma diferença com tendência a diminuir, para as condições de céu nublado apresentados na Fig. 4.4. Por outro lado, pode observar-se de modo diferenciado a influência que as condições atmosféricas exercem na variação da intensidade da RS-UV, desde céu limpo onde a atenuação é mínima, céu parcialmente encoberto em que há uma atenuação moderada até ao céu nublado em que a atenuação é máxima durando quase todo o dia. Contudo, não é seguro considerar uma eliminação total da RS-UV mesmo em condições de céu nublado, pois as nuvens têm um efeito de reflexão e refração.



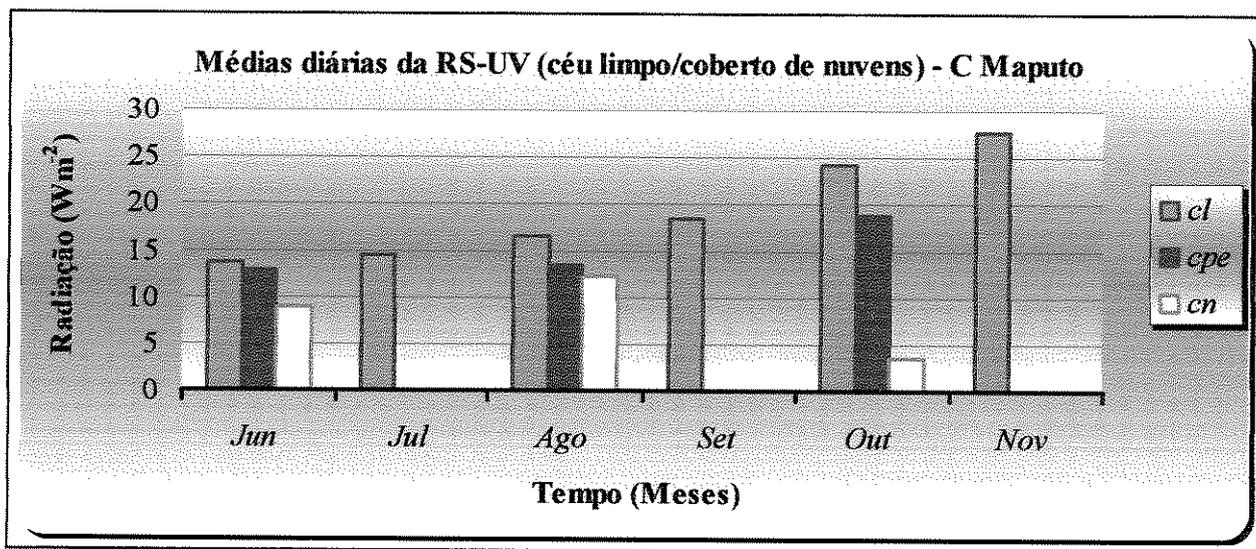
**Figura 4.4:** Gráficos da variação da Radiação solar ultravioleta, medida em Maputo sob condições de céu nublado para os meses de Junho, Agosto e Outubro de 2006.

De acordo com a Fig. 4.4 a maior redução da intensidade de RS-UV por efeitos de nebulosidade ocorreu no dia 03 de Outubro conforme o gráfico respectivo. Para este dia, pode observar-se que não existe dependência nenhuma com relação ao aumento dos valores e o ângulo de elevação do sol no seu movimento aparente. A cobertura total do céu pelas nuvens é caracterizada pela intensa redução da intensidade RS-UV, sugerindo que a qualidade de nuvens seja tanto de grande desenvolvimento vertical como de Horizontal mas de espessura significativamente maior. O máximo observado foi de  $8.00 Wm^{-2}$  (às 13h44), onde comparando com os dias de céu limpo do mesmo mês a redução ocorreu na ordem dos 81%.

É importante salientar que perante estes resultados mesmo dentro dum período em que se esperam níveis relativamente altos de RS-UV a céu limpo, em dias nublados, pode esperar-se que valores altos assim como mais baixos possam acontecer dependendo, entretanto, do grau de cobertura observado. Isto alerta a necessidade de a pessoa, antes de tomar o rumo do seu dia-a-dia, fazer a observância das condições de tempo em sua volta para que melhor se possa prevenir do perigo da UV.

#### 4.4 MÉDIA ARITMÉTICA DIÁRIA DA RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA

Na figura 4.5 estão apresentadas as médias diárias da RS-UV para as três condições atmosféricas anteriormente discutidas. Nesta Fig. 4.5 *cl* significa céu limpo, *cpe* significa céu parcialmente encoberto e *cn* significa céu nublado.



**Figura 4. 5 :** Gráficos das médias aritméticas diárias de radiação solar ultravioleta sob as condições do céu limpo (*cl*), céu parcialmente encoberto (*cpe*) e céu nublado (*cn*), medidas na estação radiométrica entre Junho e Novembro de 2006.

Nota-se um crescimento da intensidade em condições de *cl* durante todo o período em estudo. Sob condições de *cpe* verifica-se uma variação aleatória da intensidade da radiação visto que é dependente da qualidade, quantidade, espessura, velocidade de deslocamento das nuvens, etc. Sob condições de *cn* nota-se uma queda significativa da intensidade em Outubro onde se registou o valor mínimo de 3.57 Wm<sup>-2</sup>. Ora, esta constatação pode ser relacionada com o facto de o mês de Outubro, de acordo com o clima de Moçambique, ser o do começo da época chuvosa que propicia a existência de muita nebulosidade na troposfera dificultando deste modo a passagem significativa da RS-UV nesta região.

#### 4.6 MÉDIA ARITMÉTICA MENSAL DA RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA

As médias mensais da intensidade da radiação solar ultravioleta correspondentes ao período de estudo (Junho a Novembro de 2006) estão apresentadas na Fig. 4.6.

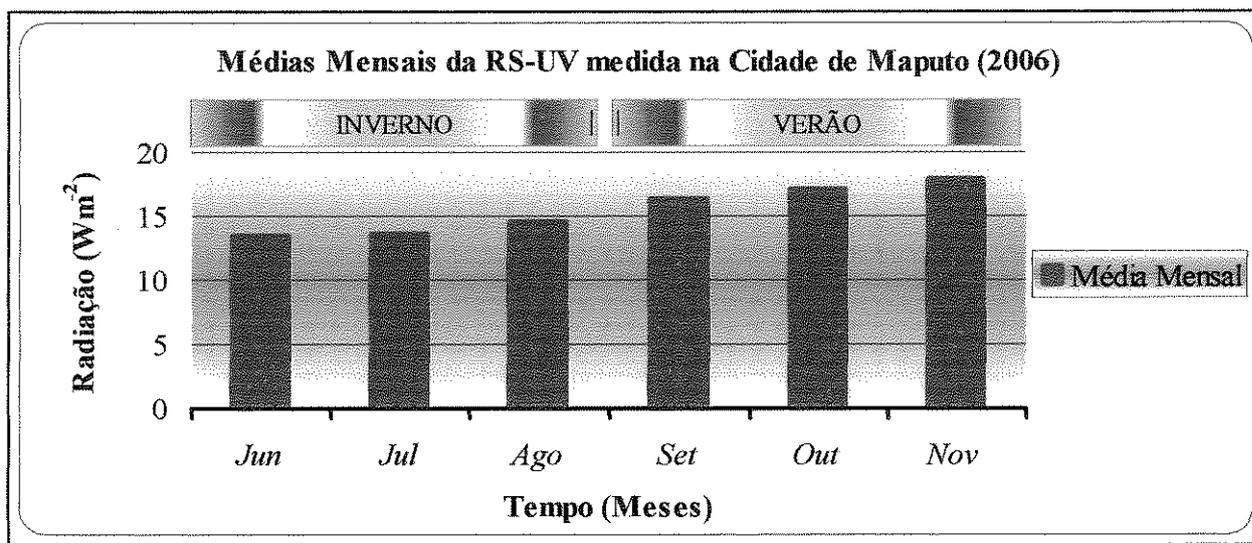


Figura 4.6: Gráfico das médias aritméticas mensais de RS-UV medida na estação radiométrica entre Junho e Novembro de 2006.

Em conformidade com o Cap. 2, a intensidade da RS-UV sobre um dado lugar depende tanto da elevação solar como da estação do ano, sendo maior no verão. Como era de se esperar, o gráfico da Fig. 4.6 mostra um ligeiro crescimento das médias durante todo o período de Junho a Novembro. Assim, os níveis baixos da RS-UV na Cidade de Maputo verificaram-se durante o inverno (com a média mais baixa de  $13.51 \text{ Wm}^{-2}$  obtida em Junho) e os altos, durante o verão sendo a média mais alta de  $17.85 \text{ Wm}^{-2}$  obtida em Novembro.

De uma forma geral, de acordo com os resultados apresentados neste trabalho, a intensidade de radiação solar ultravioleta é relativamente baixa durante os três meses do inverno e alta durante os três meses do verão, mostrando uma possibilidade de os mesmos se elevarem ainda mais durante os restantes meses do verão, tomando particularmente as condições de céu limpo. Os dias de céu limpo apresentam valores mais elevados enquanto os de céu nublado apresentam valores relativamente baixos

de intensidade de radiação, mostrando que as nuvens diminuem a intensidade da RS-UV. Todavia, as nuvens não eliminam totalmente a RS-UV, portanto, é também necessário acautelar-se mesmo em dias de céu nublado, pois pode sofrer-se danos vagarosamente no organismo humano resultando em desastres de saúde a longo prazo, lembrando que a gravidade dos impactos na saúde humana, depende também da sensibilidade da pele que varia de pessoa para pessoa.

Espera-se que os resultados mostrados neste trabalho, sejam uma contribuição para a melhoria da saúde pública na realização de diversas actividades diárias admitindo que estes resultados servem de base para a elaboração de vários instrumentos apelativos a toda sociedade de modo geral para tomarem as devidas medidas preventivas contra os impactos negativos da RS-UV, particularmente no período compreendido entre as 9h00 e 15h00. Que sirvam de auxiliador sobretudo para as entidades da saúde pública na área de consciencialização e investigação orientada aos efeitos da exposição excessiva ao sol e aos impactos reais aqui na cidade de Maputo.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

#### **5.1 CONCLUSÕES**

A melhoria da saúde pública depende fundamentalmente do conhecimento sobre os riscos de exposição aos factores que representam e das medidas de prevenção. Espera-se então que os resultados deste trabalho constituam em primeiro lugar um alerta cômico sobre os efeitos desta radiação, para que se faça uma planificação adequada na realização das várias actividades humanas à exposição do Sol, tomando as possíveis precauções. Assim, do presente trabalho relativo à Cidade de Maputo concluiu-se que:

1. A intensidade da radiação solar ultravioleta (RS-UV) que chega à superfície em condições de céu limpo aumenta com a hora do dia atingindo valores máximos nas horas próximas das 12 horas locais. Em dias de céu coberto de nuvens a intensidade da RS-UV é muito oscilatória e bastante reduzida na ordem de 50 a 80%, dependendo do tipo de nuvens presente na atmosfera. Assim, os níveis de intensidade máxima da RS-UV na Cidade de Maputo situam-se entre 20 e 50  $\text{Wm}^{-2}$  dependendo da estação do ano, podendo variar de ano para ano.
2. A RS-UV para dias de céu completamente limpo é mais intensa entre às 9 e 15 horas com um agravamento de 13  $\text{Wm}^{-2}$  e 16  $\text{Wm}^{-2}$  nos três meses de inverno considerados para 21  $\text{Wm}^{-2}$  e 37  $\text{Wm}^{-2}$  no princípio do verão. Portanto o intervalo de tempo crítico diário durante o qual se deve evitar a exposição prolongada ao sol na Cidade de Maputo é entre às 9 e 15 horas, havendo uma aproximação com o estabelecido pela OMS, 10 às 15 horas.
3. As médias aritméticas mensais de intensidade da RS-UV crescem a partir de Junho (13.51  $\text{Wm}^{-2}$ ) até Novembro (17.85  $\text{Wm}^{-2}$ ), sendo baixas no período entre Junho e Agosto (inverno) e elevadas entre Setembro e Novembro, podendo elevar-se ainda mais até ao final do verão.

## **5.2 RECOMENDAÇÕES**

O comportamento mostrado pela RS-UV de acordo com os resultados pressupõe que:

- Na Cidade de Maputo, com a aproximação da estação do verão, seja dada uma atenção especial às medidas preventivas contra os danos causados por essa radiação, mesmo por pessoas de pele negra (mais pigmentada e que raramente se queima) que embora dificilmente possam sentir seus efeitos imediatos, a exposição imediata e acumulada da UV pode causar danos a longo prazo;
- Se desenvolva um trabalho de mapeamento da intensidade de RS-UV em todo o território nacional em particular nas capitais provinciais, principalmente através do Instituto Nacional de Meteorologia ou em parceria com o Departamento de Física (Laboratório de Energias Renováveis);
- Se desenvolvam actividades de investigação dos reais impactos na saúde pública da RS-UV (as cataratas);
- Se estude o impacto directo da radiação solar ultravioleta na distribuição das espécies marinhas;
- Se estude a correlação da radiação solar ultravioleta com a concentração de ozono.

## **CAPÍTULO 6**

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Burroughs, W.J. (2001). Climate Change: a Multidisciplinary Approach. 298 pp. Cambridge, University Press.
2. Carvalho, F.R.S. (2000). Índice UV para o Público: um Guia para a Interpretação das Previsões do Índice UV com base no Trabalho preparado pelo Grupo de Trabalho nº4 da Acção COST-713 "Previsão do UV-B". 31 pp. Lisboa, IM-Acção COST-713.
3. Corrêa, M.P. (2004). Algoritmos para Cálculos de Transferência Radioactiva na Região Ultravioleta do Espectro Electromagnético. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. 17 pp. Fortaleza. Anais. CD-ROM.
4. Corrêa, M.P. (2006), As Nuvens e a Radiação UV. Acedido em: 13, Outubro, 2006, em: [www.satelite.cptec.inpe.br/uv/](http://www.satelite.cptec.inpe.br/uv/).
5. Filho, E.B. (2005), A Importância da Protecção UV. Acedido em: 2, Julho, 2006, em: [www.otico.com.br/tuv.htm](http://www.otico.com.br/tuv.htm).
6. Gibson, J.H. (não publicado ). UVB Radiation: Definition and Characteristics. 10 pp. United States, Colorado State University.
7. Henbest, N., M. Marten (1996). The New Astronomy. 2<sup>nd</sup> Edition, 240 pp. Cambridge, University Press.
8. Houghton, J. (2002). The Physics of Atmospheres. 3<sup>rd</sup> Edition, 320 pp. Cambridge, University Press.
9. IM – Instituto de Meteorologia (Portugal) (2006), A Radiação Ultravioleta. Acedido em: 29, Julho, 2006, em: [www.meteo.pt/pt/observacao/uv/uv.html](http://www.meteo.pt/pt/observacao/uv/uv.html).
10. Kirchhoff, V.W.J.H. et al. (2000), A Variação Sazonal da Radiação Ultravioleta Solar Biologicamente Activa. Acedido em: 7, Maio, 2006, em: [www.scielo.br/scielo](http://www.scielo.br/scielo).
11. Manfro, R.L. (2005). Influências dos Sistemas Meteorológicos nas Variações da Coluna Total de Ozônio Atmosférico Observado no Sul do Brasil, em São Martinho da Serra, RS. 62 pp. São José dos Campos, INPE.
12. McGregor, G.R., S. Nieuwolt (1998). Tropical Climatology. 2<sup>nd</sup> Edition, 339 pp. Chichester, Wiley.

13. McVeigh, J.C. (1977). Energia Solar: Introdução às Aplicações da Energia Solar. 238 pp. Lisboa, Edições CETOP.
14. Pereira, A.J. (2005). Estudo da Influência das Nuvens sobre a Radiação Ultravioleta. 26 pp. São José dos Campos, INPE.
15. Plante, R.H. (1983). Solar Domestic Hot Water: a Practical Guide to Installation and Understanding. 332 pp. New York, John Wiley & Sons.
16. Rodrigues, C. (2002), A Radiação Solar. Acedido em: 31, Outubro, 2006, em: [oficina.cienciaviva.pt/~pw009](http://oficina.cienciaviva.pt/~pw009).
17. Seeling, M. (2003). Radiação Ultravioleta. 8 pp. Brasil.
18. Silva, M.A.V. (2005). Meteorologia e Climatologia. 522 pp. Recifes, Versão Digital.
19. Strahler, A., A. Strahler (1998). Introducing Physical Geography. 2<sup>nd</sup> Edition, 567 pp. New York, John Wiley & Sons.
20. Urbach, F. (1966). The Biologic Effects of Ultraviolet Radiation: with Emphasis on the Skin. 704 pp. New York, Pergamon Press LTD.
21. Vanicek, K. *et al.* (1999). UV-Index for the Public. 27 pp. Brussels, COST-713 Action.
22. WHO – World Health Organization (2002). Global Solar UV Index: a Practical Guide. 28 pp. Geneva, WHO/SDE/OEH/02.2.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1: TABELAS

**Tabela A.1:** Alguns coeficientes de emissividade para algumas superfícies e/ou materiais.

Fontes: McGregor e Nieuwolt (1998) e Silva (2005).

Superfície/material	Emissividade ( $\epsilon$ )	Superfície/material	Emissividade ( $\epsilon$ )
Solos	0,90 – 0,98	Paredes	
Areia molhada	0,95	Concreto	0,71 – 0,90
Areia seca	0,89 – 0,90	Tijolo	0,90 – 0,92
Deserto	0,84 – 0,91	Pedra	0,85 – 0,95
Colheitas agrícolas	0,90 – 0,99	Madeira	0,90
Florestas	0,98	Telhados	
Relva (da comprida à curta)	0,90 – 0,95	Alcatrão e cascalho	0,92
Água	0,92 – 0,97	Telha	0,90
Gelo	0,82 – 0,995	Chapa ondulada	0,13 – 0,28
Estradas asfaltadas	0,95	Cal de pintura	0,85 – 0,95

**Tabela A.2:** Duração de insolação em função de latitude nas diferentes estações do ano.

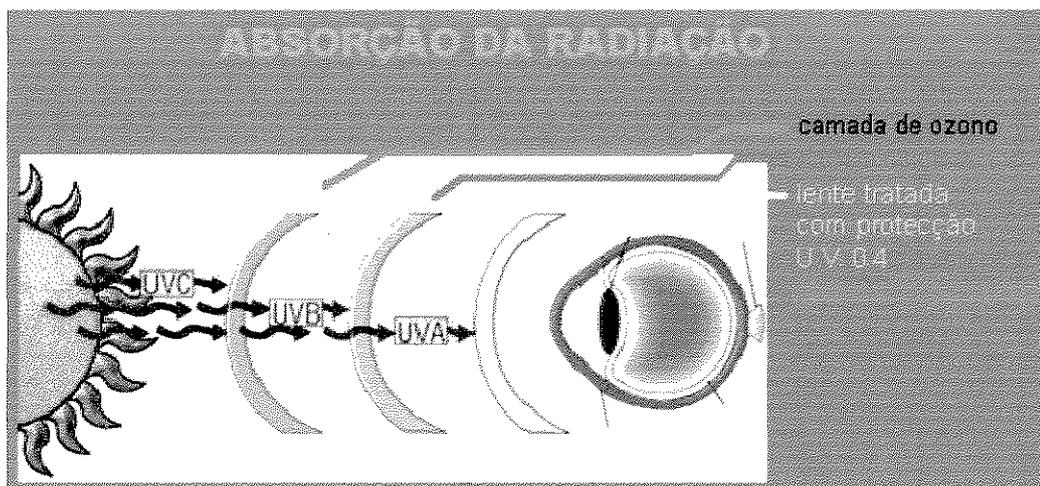
Latitude	Solstício de inverno	Equinócio de primavera e de outono	Solstício de verão
90°	0	12 horas 00 minutos	6 meses
80°	0	12 horas 00 minutos	4 meses
70°	0	12 horas 00 minutos	2 meses
60°	5 horas 33 minutos	12 horas 00 minutos	18 horas 27 minutos
50°	7 horas 42 minutos	12 horas 00 minutos	16 horas 18 minutos
40°	9 horas 08 minutos	12 horas 00 minutos	14 horas 52 minutos
30°	10 horas 04 minutos	12 horas 00 minutos	13 horas 56 minutos
20°	10 horas 48 minutos	12 horas 00 minutos	13 horas 12 minutos
10°	11 horas 25 minutos	12 horas 00 minutos	12 horas 38 minutos
0°	12 horas 00 minutos	12 horas 00 minutos	12 horas 00 minutos

**Tabela A.3:** Vinte (20) questões e respostas sobre a radiação solar ultravioleta.

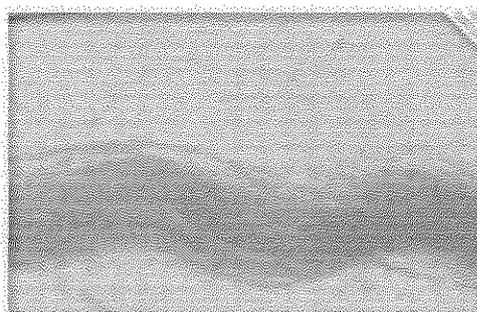
**Fonte:** Carvalho (2000).

<b>Facto ou Ficção</b>	<b>Resposta</b>	<b>Explicação</b>
01 Não se pode apanhar uma radiação num dia nublado	Errado	Ainda que a nebulosidade atenua a radiação solar ultravioleta (RS-UV), a radiação difusa é suficientemente intensa para originar eritema a menos que as nuvens sejam baixas e espessas
02 Muito sol é perigoso para qualquer que seja a idade	Correcto	A pele humana e o sistema imunológico são sensíveis à radiação solar ultravioleta ao longo de todo o seu ciclo de vida
03 O protector solar protege contra RS-UV e por isso pode-se ficar mais tempo ao sol	Errado	Os protectores solares protegem mas a sua eficiência decresce após a sua aplicação – não se deve permanecer ao sol mais do que o FPS garante
04 Deve-se evitar o sol entre às 9 e 15 horas	Correcto	Devido à maior elevação do sol a radiação solar ultravioleta é mais forte durante estas horas do dia
05 Se não sentir calor enquanto se está ao sol não se apanha uma radiação	Errado	A radiação solar ultravioleta pode não ser sentida pelo indivíduo devido à sua absorção nos níveis mais exteriores da pele
06 A radiação solar ultravioleta não só afecta a pele como também os olhos	Correcto	A radiação solar ultravioleta pode causar o desenvolvimento de cataratas
07 Basta aplicar o protector solar para ficar mais tempo exposto ao sol	Errado	Os protectores solares protegem somente durante um certo tempo. Após esse tempo, qualquer exposição é perigosa
08 As pessoas de pele clara e cabelo ruivo são particularmente sensíveis à RS-UV	Correcto	As pessoas de pele clara e cabelo ruivo constituem o grupo mais sensível da população
09 Com o bronzeado protege-se da radiação adicional	Errado	O bronzeado é já uma reacção à exposição à radiação solar ultravioleta e só protegerá parcialmente a sua pele

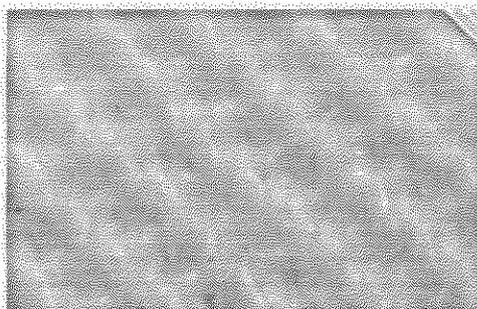
## ANEXO 2: FIGURAS



**Figura A.1:** Esquema de absorção da radiação solar ultravioleta na presença duma lente tratada.



**Figura A.2:** Fio do tecido com o inibidor UV – impenetrável para a radiação electromagnética.



**Figura A.3:** Tecido com a protecção UV, não existe buracos na trama (textura).